



Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 22/2021

Sininen biotalous

Tutkimusohjelman loppuraportti

Meri Kallasvuori, Katri Kärkkäinen, Sari Mäkinen, Kaisa Nieminen,
Petri Suuronen ja Jouni Vielma (toim.)

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 22/2021

Sininen biotalous

Tutkimusohjelman loppuraportti

Meri Kallasvuo, Katri Kärkkäinen, Sari Mäkinen, Kaisa Nieminen,
Petri Suuronen ja Jouni Vielma (toim.)

Viittausohje:

Kallasvuo, M., Kärkkäinen, K., Mäkinen, S., Nieminen, K., Suuronen, P. & Vielma, J. (toim.). 2021. Sininen biotalous : Tutkimusohjelman loppuraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 22/2021. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 36 s.

Viittausohje yksittäiseen artikkeliin:

Vielma, J., Vehviläinen, H. & Pulkkinen, J. 2021. Vesiviljely. Julkaisussa: Kallasvuo, M., Kärkkäinen, K., Mäkinen, S., Nieminen, K., Suuronen, P. & Vielma, J. (toim.). Sininen biotalous : Tutkimusohjelman loppuraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 22/2021. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 10–12.

Meri Kallasvuo, ORCID ID, <https://orcid.org/0000-0002-1109-3295>

Jouni Vielma, ORCID ID, <https://orcid.org/0000-0002-5236-9657>



ISBN 978-952-380-180-6 (Painettu)

ISBN 978-952-380-181-3 (Verkkajulkaisu)

ISSN 2342-7647 (Painettu)

ISSN 2342-7639 (Verkkajulkaisu)

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-181-3>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Meri Kallasvuo, Katri Kärkkäinen, Sari Mäkinen, Kaisa Nieminen, Petri Suuronen ja Jouni Vielma (toim.)

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2021

Julkaisuvuosi: 2021

Kannen kuva: Erkki Oksanen

Painopaikka ja julkaisumyynti: PunaMusta Oy, <http://luke.juvenesprint.fi>

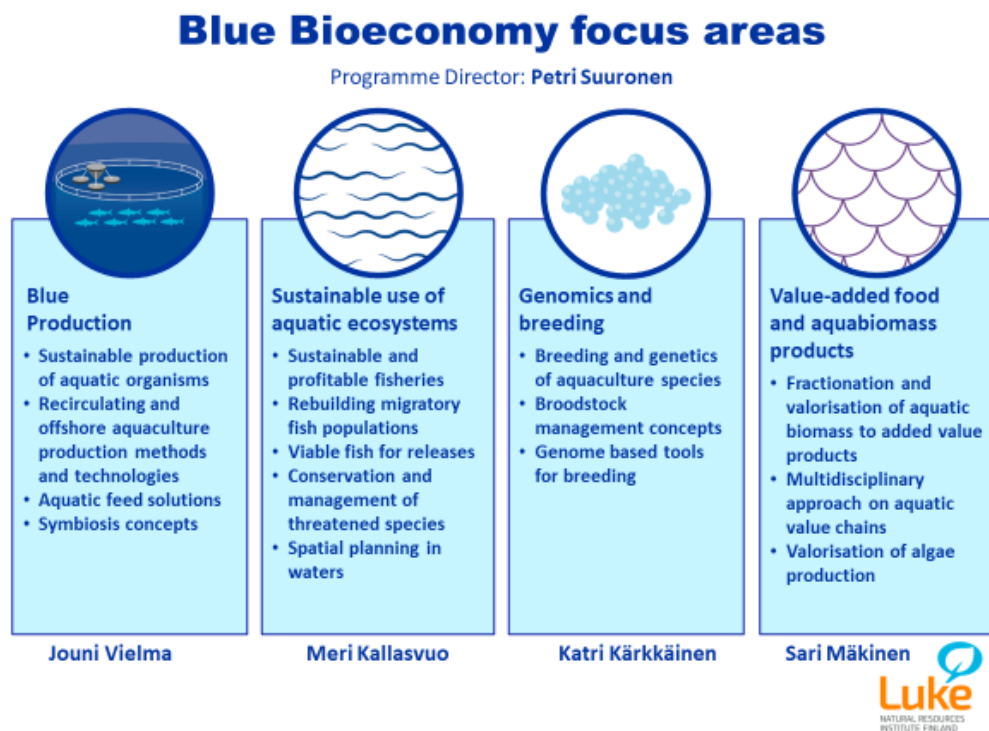
Executive Summary

Meri Kallasvu, Katri Kärkkäinen, Sari Mäkinen, Kaisa Nieminen, Petri Suuronen ja Jouni Vielma (eds.)

Natural Resources Institute Finland (Luke), Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki

The Blue Bioeconomy research program was carried out in 2016–2020. The key objectives were to (i) promote and ensure sustainable use of aquatic resources, (ii) provide support for water-based businesses (aquaculture, fisheries, fish processing), and (iii) develop added-value products of aquatic resources. The program also supported the development of blue well-being and recreational services. The vision of the program was “Science-based solutions for sustainable and versatile blue growth”.

The Blue Bioeconomy program comprised four focus areas: (i) Blue Production, (ii) Sustainable Use of Aquatic Ecosystems, (iii) Genomics and Breeding, and (iv) Value-Added Food and Aquabiomass Products. All research and development activities in the program were included in these focus areas that were led by Research Managers. The overall number of research projects varied yearly between 80 and 100, and the overall funding varied between 10 and 11 million euros.



In **Blue Production**, the research activities aimed among others at unlocking the moratorium of marine aquaculture in Baltic Sea by providing information for spatial planning processes and new technologies, such as by establishing the first submersible cage farm for public-private collaboration. Furthermore, Recirculation Aquaculture System (RAS) research was established at Luke to provide scientifically evaluated knowledge for private sector. Extensive RAS research infra was established at the Laukaa fish farm. Successful development program in aquaculture was conducted in Vietnam.

In **Sustainable Use of Aquatic Ecosystems**, important research areas included sustainability of fisheries, mitigation of seal-fishery conflict, development of stock-specific management strategies for migratory fish, and recovery activities of endangered fish stocks. In addition, development of enriched rearing technologies to promote successful fish release and habitat restoration in rivers and coastal areas were among the core areas of research.

In **Genomics and Breeding**, key areas of activity included the promotion of profitability and assessment of environmental footprint of aquaculture, genetic sustainability of fisheries and fish stocking operations, EU-level leadership to advance aquaculture genomics and breeding, and technology advancement for industry through scientific development and validation.

In **Value-Added Food and Aquabiomass Products**, the key activities included characterization of nutrients, bioactivities, and environmental toxins in underutilized fish materials, technological advancements for using low value catch and fish side streams in new foods and high value special products, and identification of new business potential and initiatives for fish, food and nutraceutical industries. Together, these activities increase resource efficiency and resilience of food system, and the availability of healthy sustainable fish-based foods.

In general, the research activities of the Blue Bioeconomy program have had a significant social impact in the field of blue bioeconomy in Finland. The program provided innovative and sustainable science-based solutions to many issues in the field. It promoted interaction between various actors in the field and had a positive impact on the business conditions and profitability of the sector. The information produced by the program has played a key role in supporting decision-making related to the blue livelihoods.

The program has raised the profile of blue sector in the societal debate and intensified the cooperation between the public and private sectors. The various stakeholder events improved the debate on problematic topics and helped to identify important research needs. One example is the strict environmental permit policy in aquaculture in Finland. A substantial increase in the supply of domestic fish will not be possible without the growth of aquaculture. To improve the acceptance of fish farming, constructive informed debate is important in decision-making to create adequate conditions for aquaculture, while taking into account other interests in water use. The research conducted at program has supported the recognition of farmed fish as an important and sustainable part of the Finnish food chain.

New international networks were created in the program, and science and business cooperation abroad were strengthened. The program was active in various online communication channels, social media, magazines, and newspapers. The program also has actively disseminated important research topics and results to society, policy makers and companies through targeted newsletters, articles and bilateral discussions.

The program was successful in obtaining external project funding. In 2016, the share of projects with external financing was 75% and by the end of 2019 it had risen to 81%. New research projects have been launched; for example, two H2020 projects coordinated by the program and three European Maritime and Fisheries Fund (EMFF) -funded projects. Significant increase took place also in the Public Private Partnership (PPP) -funded projects such as 'Sateenvarjo-III' that aims at rebuilding migratory fish populations in regulated river systems.

International research cooperation expanded and intensified, and the share of international funding in research funding increased. The number of scientific peer-reviewed articles has increased markedly during the program period and an increasing proportion has been published in high impact-factor journals. The program had a Scientific Advisory Board (StAB) with

representatives of industry, stakeholders, NGOs and universities from Finland and abroad. The key role of the StAB has been to provide strategic guidance and advice on the strategy and implementation of the program. StAB has also provided feedback on how well the program has responded to relevant research questions posed by society, stakeholders and customers.

Although the Blue Bioeconomy program has ended, research into the blue bioeconomy will not end at the Natural Resources Institute Finland. The work will continue within the new research programs and new perspectives will be included in the research activities.

There are significant new opportunities for fish as a healthy and attractive food, and fish has a growing role in the food supply of the future. Increasing the supply of domestic fish and developing new value chains will be a significant part of the work also in the coming years. Barriers to primary production growth need to be addressed more effectively through new technologies and approaches. Significantly more attention will have to be paid to the health and well-being of fish in farming and capture processes. The large potential of genetics and genomic tools in future food production and conservation will increasingly be utilized in targeted projects. The utilization of fish by-products in circular economy and in industrial ecosystems is becoming an important research sector. Significant reforms and technological progress are needed in the capture fishery sector.

Improving the ecological state of the Baltic Sea and its coastal waters will contribute to the development of a blue bioeconomy. More cross-sectorial research is needed in this field. Fish will play an increasingly important role in the growing blue recreation and tourism industry. Blue welfare services offer great opportunities for the sector. Climate change, alien species, new diseases and many other issues related to environmental change will require more attention than before. These issues must be reflected in the future research portfolio. Prioritization and cooperation are becoming increasingly important. Research investments will have to be focused primarily on activities that can create new opportunities for the development of the sector and improving the state and sustainable use of the blue environment. Initiatives and sources of funding that encourage interdisciplinarity are crucial. Reinforcing the international forefront remains essential in increasing international funding and effectiveness.

Asiasanat: Kalatalous, kala, kalastus, vesiviljely

Sisällys

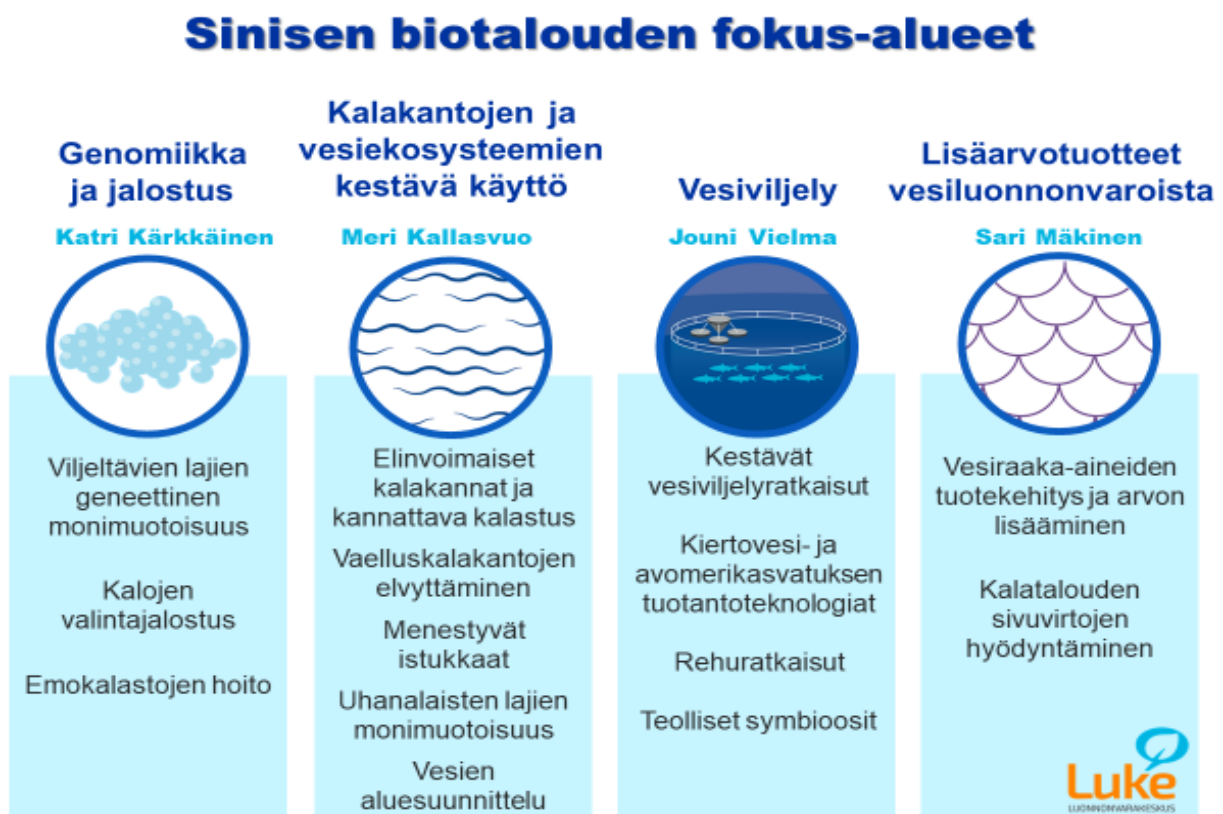
1. Johdanto	7
2. Vesiviljely	10
2.1. Tavoitteena pienemmät ympäristövaikutukset uusilla kannattavilla kasvatustekniikoilla	10
3. Kalakantojen ja vesiekosysteemien kestävä käyttö.....	13
3.1. Tavoitteena elinvoimaiset kalakannat.....	13
3.2. Vaelluskalakantojen elvyttäminen.....	15
3.3. Istutuskalojen elinkyvyn ja luonnonlisäntymisen parantaminen.....	16
3.4. Uhanalaisten kalalajien monimuotoisuuden turvaaminen	17
3.5. Kalataloudellisella aluesuunnittelulla kohti kestävää kalavarojen käyttöä	19
3.6. Hyvinvointia ja virkistystä vesistä.....	20
4. Kalageneettinen tutkimus ja jalostustyö	24
4.1. Luonnonvaraisten kalakantojen genetiikka	24
4.2. Ruokakalankasvatuksen genetiikka	27
5. Lisäarvotuotteet vesiluonnonvaroista.....	29
5.1. Vähäarvoiset kalat ja kalasivutuotteet hyötykäyttöön.....	29
6. Mitä sinisen biotalouden jälkeen?	33
Viitteet.....	35

1. Johdanto

Petri Suuronen, Meri Kallasvuo

Sininen biotalous -ohjelmassa on tehty vuosina 2016–2020 tieteellisesti korkeatasoista tutkimus- ja kehitystyötä kalavarojen kestävästä käytöstä ja kotimaisen kalan tarjonnan lisäämisen edistämiseksi, vesialan yritystoiminnan tukemiseksi sekä lisäarvotuotteiden kehittämiseksi akvaattisista resursseista. Ohjelma on myös tukenut sinisten hyvinvointi- ja virkistyspalvelujen kehittämistä.

Ohjelman toimintaa ohjaavana visiona on vuosina 2016–2020 ollut taata vesivarojen tuottava ja kestävä käyttö. Tässä loppuraportissa esitellään ohjelman keskeisiä saavutuksia. Raportti noudattaa Sinisen biotalouden ohjelman fokusalueita (Kuva 1), jotka ovat Vesiviljely (Luku 2), Kalakantojen ja vesiekosysteemien kestävä käyttö (Luku 3), Genomiikka ja jalostus (Luku 4) sekä Lisäarvotuotteet vesiluonnonvaroista (Luku 5). Lopuksi luodaan katsaus Sinisen biotalouden tulevaisuuden näkymiin (Luku 6).



Kuva 1. Sinisen biotalouden fokusalueet sekä niiden keskeiset painopistealueet.

Sinisen biotalouden tutkimusohjelman yhteiskunnallinen vaikuttavuus.

Sininen biotalous -ohjelman monitieteisellä tutkimustoiminnalla on ollut merkittävä yhteiskunnallinen vaikuttavuus omalla toimialallaan. Ohjelmassa tuotettu tieto on ollut avainasemassa kalatalouteen ja siniseen biotalouteen liittyvän päätöksenteon tukemisessa. Ohjelman hankkeisiin on osallistunut toimijoita arvoketjun eri osista ja erilaisista tutkimuslaitoksista. Se on edistänyt vuorovaikutusta toimijoiden välillä ja vaikuttanut positiivisesti toimialan yritystoiminnan

edellytyksiin ja kannattavuuteen. Ohjelma on tarjonnut innovatiivisia ja kestäviä tieteeseen perustuvia ratkaisuja moniin alan kysymyksiin.

Ohjelma on lisännyt vesialan näkyvyyttä yhteiskunnallisessa keskustelussa ja tiivistänyt yhteistyötä julkisen ja yksityisen sektorin välillä. Ohjelman järjestämät seminaarit, kokoukset ja tapahtumat ovat lisänneet ja syventäneet yhteiskunnallista keskustelua toimialan pulmakysymyksistä ja auttaneet tunnistamaan keskeisen tärkeitä uusia tutkimustarpeita. Uusia kansainvälisiä verkostoja on luotu ja yritysysteistyötä on vahvistettu. Ohjelman tiedeviestintä on ollut aktiivista verkkoviestinnän eri kanavissa, sosiaalisessa mediassa sekä päivä- ja aikakauslehdissä. Ohjelma on välittänyt tärkeitä tutkimusaiheita ja tuloksia yhteiskunnalle, päättäjille ja yrityksille kohdennettujen uutiskirjeiden, artikkeleiden ja kahdenvälisen keskustelun avulla.

KAUPALLINEN KALATALOUS LUKUINA (v. 2018)

Vuonna 2018 kalatalousalalla toimi 1 506 yritystä. Yrityksistä 71 prosenttia oli kalastusyrityksiä, joista suurin osa harjoittaa pienimuotoista kalastusta. Kalatalous työllisti 2 406 henkilötyövuotta. Kalanjalostus työllisti eniten, 34 prosenttia koko toimialasta. Kalastuksen osuus oli 10, vesiviljelyn 13 ja kalan tukku- ja vähittäiskaupan 43 prosenttia. Henkilötyövuosien määrä kasvoi kalan jalostuksessa ja tukkukaupassa ja väheni alkutuotannossa sekä kalaan erikoistuneessa vähittäiskaupassa.

Vuonna 2018 kalatalousyritysten kokonaistuotot olivat 964 miljoonaa euroa. Tuotoiltaan suurin toimiala oli kalanjalostus, 397 miljoonaa euroa. Seuraavaksi suurin ala oli kalan tukkukauppa 330 miljoonan euron tuotoilla. Kalaan erikoistuneen vähittäiskaupan tuotot olivat 117 miljoonaa, vesiviljelyn 81 miljoonaa ja kalastuksen 38 miljoonaa euroa. Kalatalouden tuottama jalostusarvo oli 166 miljoonaa euroa, josta suurin osa (56 miljoonaa euroa) tuli kalanjalostuksesta.

Tukkukauppa tuotti kalatalouden toiseksi suurimman jalostusarvon, 37 miljoonaa euroa. Kalanjalostus oli kalatalouden kannattavin toimiala 13,3 miljoonan euron nettotuloksella. Kalastuksen nettotulos oli 9,4 miljoonaa. Kalan vähittäiskaupan nettotulos oli 6,4 ja tukkukaupan 5,3 miljoonaa euroa. Vesiviljely-yritysten nettotulos oli 4,7 miljoonaa euroa. Lisää tietoa verkko-osoitteessa http://stat.luke.fi/kalatalouden-kannattavuus-2018_fi

Ohjelmalla on ollut tieteellinen neuvottelukunta (StAB), jossa on teollisuuden, sidosryhmien, kansalaisjärjestöjen ja korkeakoulujen edustajia Suomesta ja ulkomailta. StAB:in tehtävänä on ollut antaa strategista ohjausta ja neuvoja koskien ohjelman strategiaa, toteutusta ja tuloksia. StAB on myös antanut palautetta siitä, vastaako ohjelma yhteiskunnan, sidosryhmiemme ja asiakkaiden asettamiin olennaisiin tutkimuskysymyksiin.

OHJELMAN RAHOITUS JA JULKAISUT

Ohjelma on ollut erittäin onnistunut ulkopuolisen projektirahoituksen hankinnassa. Vuonna 2016 ulkoisen rahoituksen osuus oli 75% ja vuoden 2019 loppuun mennessä se oli noussut jo 81%:iin. Uusia tutkimushankkeita on aloitettu; esimerkiksi kaksi ohjelman koordinoimaa H2020-hanketta (AqualMPACT ja SIMBA) sekä kolme EMKR:n rahoittamaa ohjelmaa. Kansainvälinen tutkimusyhteistyö on laajentunut ja tiivistynyt, ja kansainvälisen rahoituksen osuus tutkimuksen rahoituksessa on kasvanut.

Tieteellisten artikkeleiden julkaisumäärä on kasvanut ohjelmakaudella ja artikkeleita on julkaistu yhä merkittävimmissä tieteellisissä sarjoissa (kts. Taulukko 1).

[Tutustu Luonnonvarakeskuksen julkaisuihin.](#)

Taulukko 1. Tieteellisissä sarjoissa julkaistut Sinisen biotalouden vertaisarvioidut artikkelit 2015–2020.

Vuosi	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Tieteellisten julkaisujen määrä	30	36	55	50	46	70*

**sisältää myös "in press" artikkelit*

2. Vesiviljely

Jouni Vielma (toim.)

2.1. Tavoitteena pienemmät ympäristövaikutukset uusilla kannattavilla kasvatustekniikoilla

Jouni Vielma, Harri Vehviläinen, Jani Pulkkinen

Verkkoaltaissa kasvatetun kalan hiilijalanjälki on tutkitusti yksi elintarvikkeiden pienimpiä. Kasvatus voi kuitenkin aiheuttaa paikallisia rehevöitymishaittoja. Sinisen biotalouden Vesiviljelyn fokusalueessa on tehty 2016–2020 monipuolista työtä merikasvatuksen ympäristövaikutusten pienentämiseksi. Uusia kalankasvatuspaikkoja on etsitty avomerialueilta sekä kokeiltu niihin soveltuvia kalankasvatustekniikoita. Lisäksi on tutkittu mm. uusia rehun raaka-aineita, siian ja kirjolohen tehokkaampia tuotantotekniikoita, kuhan merikasvatuksen mahdollisuuksia ja kiertovedessä kasvatetun poikasen menestymistä merikasvatuksessa.

Kiertovesikasvatus (Recirculating Aquaculture Systems, RAS) on viime vuosina yleistynyt ympäri maailmaa. RAS-laitokset tuottavat kuitenkin edelleen alle 15 % Suomessa kasvatetusta kalasta ja toiminta on ollut taloudellisesti tappiollista. Tutkimuksemme keskeiset tavoitteet ovat olleet RAS-laitosten kapasiteetin täysimääräinen käyttö ja lopputuotteen moitteeton laatu, sillä ne ovat kannattavan toiminnan perusta. Lisäksi olemme tutkineet RAS-laitosten ravinnekuormituksen pienentämistä; tekniikan mahdollistama matala ravinnekuormitus on yksi kiertovesikasvatuksen suurimmista eduista. Luke on myös tehnyt pienimuotoisempaan ja edullisempaan RAS-tekniikkaan liittyviä innovaatioita.

Keskeiset saavutukset

Merikasvatus kehittyä elinkeino- ja ympäristötavoitteet yhteensovittamalla. Luonnonvarakeskus on osallistunut merialueen suunnitteluun eri tasoilla ja suunnitteluprosessien eri vaiheissa. Tavoitteiden yhteensovittamista varten Luonnonvarakeskuksessa tehtiin ympäristöllisiä, taloudellisia ja sosiaalisia kriteereitä huomioiva FINFARMGIS-malli. Uusikaupunki ja Metsähallitus selvittävät vesialueidensa soveltuvuutta kalankasvatukseen ja Luonnonvarakeskus on tuottanut mallilla karttatietoa eri sidosryhmien käyttöön. Uudenkaupungin alueella toteutetun kyselyn avulla kartoitettiin sidosryhmien näkemyksiä eri kohteiden soveltuvuudesta. Olemme myös osallistuneet EU:n direktiivin mukaiseen merialuesuunnittelun prosessiin. Työn tuloksia käytetään erityisesti kalankasvatuksen ympäristöluvituksen yhteydessä.

Upotettava verkkoallas avomerikasvatukseen. Verkkoallaskasvatuksen suurin potentiaali on kauempana rannikosta, jossa paikallisia ympäristövaikutuksia on vähemmän ja josta löytyy viileämpää vettä ilmaston muuttuessa. Olosuhteiden ja maailmalla käytössä olevien tekniikoiden kartoituksen tuloksena Luonnonvarakeskus hankki tuotantomittakaavan upotettavan verkkoallaslaitoksen, joka on sijoitettu yhteistyöyrityksen koekäytettäväksi Kihdin ankariin olosuhteisiin. Päivittäisten käyttökokemusten lisäksi verkkoaltaan käyttäytymistä, mm. liikkumista ja muotoa, aletaan seurata antureiden avulla ja alueen aallokkoisuutta ja muita ympäristöolosuhteita seurataan Suomen Akatemian rahoituksella hankituilla mittalaitteilla.

Laukaalle rakentui monipuolinen kiertovesikasvatuksen tutkimusympäristö. Kiertovesiyrietykset ovat tehneet paljon tärkeää työtä tuotantomittakaavan kokeiluilla ja kehitystyöllä. Tutkimuksen rooli on kehittää ja kokeilla uusimpia menetelmiä ja tekniikoita pienemmässä ja helpommin hallittavassa ympäristössä. Oman tutkimuksen myötä kasvavan ymmärryksen avulla

myös osaamisen ja teknologioiden siirto maailmalta Suomeen helpottuu. Alalle on saatu myös kiertovesikasvatuksesta opinnäytetöitä tehneitä asiantuntijoita. Sinisen biotalouden ohjelman aikana Laukaalle hankittiin ulkopuolinen rahoitus kolmeen erilaiseen tutkimusympäristöön, joiden avulla voidaan kehittää Suomen oloihin soveltuvia tekniikoita. Voidaankin todeta, että tämän tutkimusohjelman aikana syntyi suomalainen kiertovesitutkimus.

RAS-kalassa voi olla makuvirheitä mutta niiden määrää voi hallita. Kiertovesilaitoksen biologisessa suodatuksessa oleva monipuolinen bakteeriyhteisö tuottaa veteen mudan makua aiheuttavia kemiallisia yhdisteitä. Makuvirhe saadaan poistettua pitämällä kaloja 1–2 viikkoa vedessä, jota ei kierrätetä. Aluksi kehitimme makuvirheitä aiheuttavien yhdisteiden kemiallisen analytiikan Luonnonvarakeskukseen. Sen jälkeen tutkimuksia tehtiin sekä Luonnonvarakeskuksen koeympäristöissä että yrityksissä. Havaitsimme, että hapettavat yhdisteet, kuten peretikka-happo ja otsoni nopeuttavat kalojen raikastusta, kun taas biosuodattimen rakenteella ja veden hiilidioksidipitoisuudella on vähemmän selvä vaikutus.

Puuhakereaktori poistaa typpeä edullisesti. Kiertovesilaitoksissa fosfori saadaan 80–90 prosenttisesti talteen, mutta typpikuormituksen pienentäminen on ollut vaikeampaa. Puuhakereaktorit ovat yleistyneet Tanskassa ja Yhdysvalloissa kalankasvatuksen, maatalouden ja hulevesien käsittelyssä. Hakkeessa oleva hiili käytetään prosessissa, jossa bakteerit pelkistävät nitraattitypen ilmaan haihtuvaksi typpikaasuksi vähentäen veteen pääsevän typen rehevöittäviä päästöjä. Reaktorin viipymästä riippuen laitoksen poistoveden tyyppisestä saatiin poistettua yli 85 % ja ensimmäiset yrityskoon suodattimet on rakennettu Suomeen.

Vedenkäsittelyn innovaatio kasvatukseen merikonteissa. Merikontti voidaan muuntaa pienin kustannuksin läpivirtausta vähemmän vettä kuluttavaksi järjestelmäksi veden ilmastuksen ja virtaamien muokkauksella. Laukaan laitokselle rakennetussa pilotissa tutkittiin mm. kalojen kuluttaman hapen ja kalojen tuottaman hiilidioksidin tasapainoa, sekä mitattiin kuinka suuri osa fosforista saadaan talteen yksinkertaisella laskeutuksella. Konttikasvatus kiinnostaa yrityksiä ja menetelmän kaupallistaminen aloitettiin.

Kirjolohen tuotannon optimointi steriilikalalla. Kirjolohen vuosituotannosta yli 60 % perataan loka-joulukuun aikana. Tämä johtaa ylitarjontaan, mikä laskee fileiden ja mädin hintaa. Kalaa ei myöskään jää tarpeeksi kalanjalostuslaitosten kevään ja alkukesän tarpeisiin. Kirjolohen sukukypsytymisen hallintaan olisi siksi tarvetta. Yksi varmimmista tavoista tuottaa täysin sukukypsytymättömiä parvia kevään markkinoille on kromosomiston kolminkertaistaminen (triploidia). Meressä tehdyissä kasvatuskokeissa tutkittiin triploidien ja normaalisti sukukypsytymisen kirjolohen kasvua, rehunkäyttöä, fileen määrää ja lihaksen laatua. Yritykset käyttävät tuloksia suunnitellessaan tuotantosuuntaansa ja tuotannon rytmiä.

Tulevaisuuden tavoitteet

Terveellinen ja laadultaan korkeatasoinen vesiviljelytuotanto on tärkeä osa suomalaista tulevaisuuden ruokaketjua ja ruokaturvaa. Vesiviljelyn on kehittyäkseen pystyttävä jatkossakin yhteensovittamaan elinkeino- ja ympäristöpoliittisia tavoitteita, ja siinä Luken tutkimuksella on iso rooli. Merikasvatus voi laajentua, kun ympäristövaikutukset hallitaan. Avomeri- ja kiertovesikasvatus tarvitsevat kehittyäkseen uusia ratkaisuja. Ympäristön kannalta suotuisan ja yrityksille kannattavan kasvatuksen on myös otettava huomioon kalojen hyvinvointi, ja olemme aloittaneet tässä teemassa uudenlaista tutkimusta kansainvälisenä yhteistyönä.

VESIVILJELYN INNOVAATIO-OHJELMALLA KESTÄVÄÄ KASVUA

Vesiviljelyn innovaatio-ohjelma on 10 partnerin ja alan yritysten välinen verkosto, jonka toimintaa Luonnonvarakeskus koordinoi. Verkoston tavoitteena on vesiviljelyn määrän ja arvon kestävä kasvu, sillä tuonti kattaa noin 70 % Suomen lohikalojen kulutuksesta. Kestävään kasvuun pyritään ohjelmassa kehittämällä ja kokeilemalla uusia kalankasvatuksen teknologioita ja toimintamalleja. Pääteemat ovat avomeri- ja kiertovesikasvatus, ja läpileikkaavana teemana on koulutus, sillä uudistuva toimiala tarvitsee uusia osaajia. Innovaatio-ohjelman avulla T&K-toimintaan luodaan uusia pysyvämpiä kumppanuuksia, jotka hakeutuvat myös kansainväliseen yhteistyöhön. Vesiviljelyn innovaatio-ohjelma onkin poikinnut useita spin off-hankkeita mm. kalojen hyvinvointitutkimukseen, kiertovesikasvatuksen vedenlaadun hallintaan ja merialueen olosuhteiden mittaamiseen. Ohjelman tuotoksia on kerätty EMKR:n Suomen toimintaohjelman verkkoportaaliin merijakalatalous.fi ja Suomen Kalankasvattajaliitos sivuille kalankasvatus.fi/vesiviljelyn-innovaatiot.

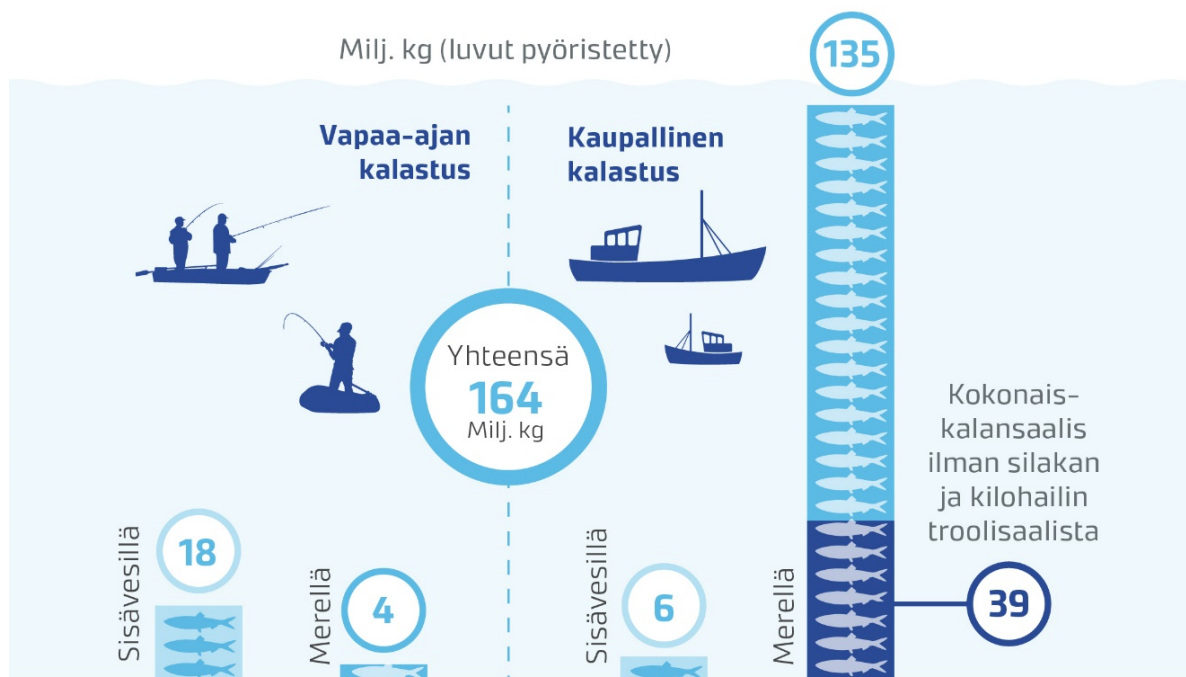
3. Kalakantojen ja vesiekosysteemien kestävä käyttö

Meri Kallasvuo (toim.)

3.1. Tavoitteena elinvoimaiset kalakannat

Mikko Olin, Jari Raitaniemi, Ari Leskelä

Kalavarat ovat tärkeä tulonlähde, ravintoresurssi ja virkistätymiskeino sekä kaupallisille että vapaa-ajankalastajille (Kuva 2), niin rannikkoalueella kuin sisävesilläkin (Kuva 3). Kalakantojen ja vesiekosysteemien kestävä käyttö -fokusalueessa vuosina 2016–2020 tehty tutkimus- ja kehitystyö on pyrkinyt turvaamaan kalavarojemme kestävä käyttöön, jotta kalastettavat kannat ja vesiympäristö säilyisivät hyvässä tilassa tulevaisuudessakin.



Kuva 2. Suomen kokonaiskalansaalis vuonna 2019 (Ruoka- ja luonnonvaratilastojen e-vuosi-kirja 2020).



Kuva 3. Kalastajien määrä Suomessa vuonna 2019. (Ruoka- ja luonnonvaratilastojen e-vuosi-kirja 2020)

Keskeiset saavutukset

Kalavarojen kestävä käytön edistämiseksi fokusalueessa on tehty aktiivista työtä kalavarojen käyttömuotojen sekä hoidon ja suojelun yhteensovittamiseksi. Kestävän kalastuksen tulee mahdollistaa kalojen luonnollinen elinkierto, eikä se saa heikentää tulevien sukupolvien kalastusmahdollisuuksia. Kalastusta säädellään Suomessa alamitta- ja solmuvälisäädöksin sekä pyydysmääriä ja pyyntialueita säätelemällä, sekä kiintiölajien (silakka, lohi, kilohaili, turska) osalta kestäväen enimmäistuoton perusteella. Esimerkiksi kuhakantojen kestäväen tuotannon parantamiseksi ja evolutiivisten muutosten vähentämiseksi (sukukypsyysien ja -koon lasku) kuhan mitatasäätely uudistettiin 2016. Luke seuraa jatkossakin mm. saalistilastojen ja -näytteiden avulla muuttuvan kalastuksen ja ympäristön vaikutuksia kuhakantoihin.

Suomen Ammattikalastajaliitto (SAKL) on saanut Suomen silakan- ja kilohailin kalastukselle [MSC kestäväen kalastuksen sertifi kaatin](#). Luke on paitsi tuottanut aineistoa ja osallistunut vuosittaisiin Kansainvälisen merentutkimusneuvoston (ICES) kanta-arvioihin, myös tuottanut yhteistyössä kalastajien kanssa kestäväen kalastuksen sertifi kaattiin vaadittavaa tietoa kalastuksen sivusaaliista ja saaliin koostumuksesta. Silakka- ja kilohailiseurannoissa hyödynnetään laajaa Suomalaista [FINMARI](#)-merentutkimusinfrastruktuuria.

Tulevaisuudessa vajaasti hyödynnetyt kalavarat tutkimuksen keskiöön

Kalavarojen kestävyys pysyy tulevaisuudessakin yhtenä tärkeimmistä tutkimusaiheistamme. Jatkossa huomiota ja resursseja pitää entistä enemmän kohdistaa tietopohjan kasvattamiseen vajaasti hyödynnetyjen kalavarojen (esim. särkikalat ja kolmipiikki) osalta, jotta osaamme arvioida milloin alamme lähestyä kestäväen kalastuksen rajoja.

TUTKIMUKSEN JA KALASTAJIEN VÄLISESSÄ KUMPPANUUSOHJELMASSA TEHTY TAVOITTEELLISTA YHTEISTYÖTÄ

Euroopan meri- ja kalatalousasetuksen artiklassa 28 säädetään tutkimuksen ja kalastajien kumppanuudesta ja sen tukemisesta. Artiklaa on toteutettu vuodesta 2016 alkaen Suomessa tutkimuksen ja kalastajien välisessä kumppanuusohjelmassa, joka on yksi Suomen EMKR-toimintaohjelmaan sisältyvistä, monivuotisen rahoituksen turvin toimivista innovaatio-ohjelmista (www.merijakalatalous.fi). Ohjelmassa rakennetaan tutkimuksen ja elinkeinon välistä verkostoa ja yhteistyötä mm. tiedonkeruun ja tiedottamisen sekä kehittämis- ja pilotointiprojektien avulla.

Tutkimuksen ja kalastajien kumppanuusohjelmassa on kehitetty ratkaisuja mm. pienikokoisen ja vähempiarvoisen kalan hyödyntämiseksi, hylkeiden ja merimetsojen aiheuttamien haittojen vähentämiseksi, pyydysten selektiivisyyden lisäämiseksi ja kalojen vierasainepitoisuuden seuraamiseksi. Suomen EMKR-toimenpideohjelman mukaisesti kehittämiskohteet määritellään yhdessä eri sidosryhmien kanssa, joista tärkeimmät sidosryhmät ovat Suomen ammattikalastajaliitto SAKL ja Suomen sisävesiammattikalastajat ry.

3.2. Vaelluskalakantojen elvyttäminen

Pauliina Louhi, Jaakko Erkinaro

Vuosien 2016–2020 tavoitteena on ollut tuottaa laadukasta tutkimustietoa sekä ratkaisuja vaelluskalakantojen elvyttämiseksi yhteistyössä laajan sidosryhmäkentän kanssa (viranomaiset, toiminnanharjoittajat, ympäristöjärjestöt, kunnat ja osakaskunnat). Monipuolisella biologisella ja sosioekonomisella tutkimuksella on ollut vaikutusta vaelluskalakantojen hoidossa sekä niihin perustuvien elinkeinojen, virkistystoiminnan ja vesienhoidon toimien toteutuksessa.

Keskeiset vaelluskalakantoihin liittyvät saavutukset

Vaelluskalatutkimus on kohdistunut kalakantojen elvyttämisen ja vesivoimatuotannon sekä muun vesistöjen ja kalakantojen käytön yhteensovittamiseen osana kansallisia strategioitamme (mm. Kalatiestrategia, Lohi- ja meritaimenstrategia), hallituksen tavoitteita (kärkihankkeet, NOUSU-vaelluskalaohjelma) sekä EU:n Vesipolitiikan puitteiden direktiiviä ja Biodiversiteettistrategiaa vuoteen 2030.

Monipuolinen biologinen ja sosioekonominen tutkimus on tukenut vaelluskalakantojen elvyttämistä ja hoitoa sekä niihin perustuvia elinkeinoja, virkistystoimintaa ja vesienhoitoa. Tutkimustuloksemme ovat ohjanneet mm. Suomen ensimmäisen kaloja ohjaavan alasvaellusrakenteen toteutusta ja uudenlaisen älykalatien suunnittelua, sekä tehostaneet suurten rakennettujen jokien vaelluskalakantojen hoitoa. Yhteistyössä alueellisten toimijoiden kanssa olemme vaikuttaneet merkittävästi muun muassa meritaimenen palauttamiseen Isojoen vesistöalueelle sekä Oulun Hupisaarten kaupunkipurojen lohikalakantojen elvyttämiseen.

Vaelluskalakantojen hoitaminen ja sen taustalla tehtävä seuranta- ja tutkimustyö edellyttävät usein kansainvälistä yhteistyötä. Suurten rajajokiemme, Tenojoen ja Tornionjoen, lohikantojen hoidon kahdenvälisten sopimusten biologinen perusta on rakennettu Luken ja yhteistyö-

kumppanien tutkimustyöhön. Korkealaatuinen tutkimustyö lohikantojen monimuotoisuuden, geneettisen rakenteen ja vaellusrytmiikan selvittämiseksi on ollut edellytyksenä maailmallakin ainutlaatuisen kantakohtaisen seuranta-, arviointi- ja säätelyjärjestelmän rakentamisessa Tenojoen lohikantojen hoitamiseksi. Kansainvälinen yhteistyö on lisäksi tuottanut uusia uria aukovia vaelluskalatutkimuksen läpimurtoja, joita on julkaistu arvostetuissa tieteellisissä sarjajulkaisuissa.

Vaellusyhteyksien palauttaminen vaatii työtä tulevaisuudessakin

Tulevaisuudessa erilaiset ratkaisut vaellusyhteyden ennallistamisessa tulevat edelleen olemaan keskeisiä haasteita vaelluskalatutkimuksessa. Perinteisempien kalatieratkaisujen rinnalle nousee mukaan myös vaellusesteiden purkaminen, ilmaston muutokseen sopeutuminen ja maankäytön vaikutukset osana kalakantojen elvyttämistä ja tutkimusta.

3.3. Istutuskalojen elinkyvyn ja luonnonlisääntymisen parantaminen

Pekka Hyvärinen

Kokeelliset tutkimukset, joilla tähdätään istutuskalojen elinkyvyn parantamiseen, on toteutettu Luken ja yliopistojen yhteistyönä Kainuun kalantutkimusasemalla Paltamossa. Hyviksi todettuja menetelmiä on viety yritysten poikaskasvatukseen ja istutuskäytäntöihin.

Keskeiset istutusten tuloksellisuuteen liittyvät saavutukset

SATEENVARJO III – ONNISTUNUTTA YHTEISTYÖTÄ RAKENNETTujen JOKIEN VAELLUSKALAKANTOJEN HOIDOSSA

Sateenvarjo III -hankkeen tavoitteena on tuottaa tutkimustietoa vaelluskalakantojen elvyttämiseksi rakennetuissa joissa ja sovittaa elvytystoimia yhteen vesivoimatuotannon kanssa. Hanke toteutetaan yhteistyössä tutkijoiden, vesivoimatuotannon ja viranomaisien edustajien kanssa, jolloin tutkimustulokset saadaan vietyä nopeasti käytäntöön. Luke on hankkeen päätoteuttaja.

Hankkeen kohdealueita ovat Oulujoki, Iijoki, Kemijoki, Lieksanjoki, Ala-Koitajoki, Pielisjoki ja Kymijoki. Kohdelajeina ovat lohi, taimen ja siika.

Hankemalli on ns. PPP-hanke, jonka budjetti vuosille 2019-2023 on noin 1,9 MEUR. Rahoittajina toimivat Fortum Oy, Kemijoki Oy, PVO-Vesivoima Oy, Vattenfall Oy, UPM Energy Oy, Oulun Energia, Helen Oy, Kolsin Voima Oy, Energiateollisuuden ympäristöpooli, Maa- ja metsätalousministeriö ja Luonnonvarakeskus. Ohjausryhmässä ovat mukana myös Lapin, Pohjois-Pohjanmaan, Pohjois-Savon, Varsinais-Suomen ELY-keskukset sekä Pohjois-Karjalan Sähkö Oy.

Nykyinen hanke on jatkoa jo vuodesta 2010 alkaneelle tutkimuslaitoksen, voimayhtiöiden ja viranomaisten yhteistyölle Sateenvarjo I- ja Sateenvarjo II-hankkeissa.

Laitostuneita kalakantoja on pyritty villiyyttämään mm. risteyttämällä. Puhtaat laitoskannan poikaset ovat tutkimuksissa olleet istutuksen jälkeen aktiivisempia kuin villien poikaset (Alioravainen ym. 2020a) ja näiden risteymät puolestaan arempia kuin laitosaimentien poikaset (Ågren ym. 2019). Vieraan kannan kanssa risteytyessään poikasilla oli suurempi kuolleisuus ja heikompi kasvu ja ne selvisivät heikommin haukien saalistukselta kuin alkuperäiset kannat (Alioravainen ym. 2018). Kalastusvalinnan seurauksena laitoskannan poikaset olivat riskihalukkaampia ja villin kannan poikaset arempia (Alioravainen ym. 2020b). Taimenkannat erosivat toisistaan sekä mikrosatelliittimarkkereitten sekä rad-sekvensoinnin perusteella (Lemopoulos ym. 2019a, Lemopoulos ym. 2019b). Paikallisten taimenkantojen risteytyminen saman alueen vaeltavien istukkaiden kanssa ei näytä uhkaavan taimenkantojen elinkykyä, mutta risteytymisen vieraiden alueiden taimenten kanssa on haitallista.

Virikekasvatuksen vaikutuksia selvittävässä tutkimuksessa havaittiin, että virikealtaissa kasvatettujen kalojen kuolleisuus ja loismäärät olivat alempia ja vastustuskyky parempi kuin standardialtaissa (Karvonen ym. 2016). Mikäli kalat altistuivat flavobakteerille kiviltaassa, oli niiden selviytyminen parempaa riippumatta siitä, millaisessa ympäristössä ne oli alun perin kasvatettu (Räihä ym. 2019). Poikasten alkuvaiheen virikekasvatusta tuotti taimenia, joilla oli aikuisvaiheessa vähemmän pilkkuja (Yaripour ym. 2020). Myös tällä voi olla vaikutusta kalan menestymiseen.

Tulevaisuudessa selvitetään muun muassa stressittömämmän istutuksen hyötyjä

Jatkossa lohien ja taimenten elinkierto-ominaisuuksia pyritään palauttamaan lähemmäksi luonnonkantoja suuntaavilla risteytyskokeilla. Virikekasvatuksen vaikuttavia mekanismeja tutkimalla menetelmää kehitetään aiempaa paremmin tuotantomittakaavan kasvatukseen soveltuvaksi. Lisäksi tutkitaan vapautusaltaan kautta tapahtuvan stressittömämmän istutuksen hyötyjä sekä istutusajankohdan, -iän, -koon sekä vaellusvalmiuden yhteensopivuutta ja vaikutusta saatavaan istutustulokseen.

3.4. Uhanalaisten kalalajien monimuotoisuuden turvaaminen

Matti Janhunen, Mikko Olin, Jouni Tulonen

Sinisen biotalouden tutkimusohjelman yhtenä tavoitteena on ollut turvata kalavarojen monimuotoisuus ja kalakantojen elinvoimaisuus. Erittäin uhanalaisen ankeriaan tutkimuksella on osallistuttu yhteiseurooppalaiseen ankeriasdirektiivin (EY asetus, 1100/2007) edellyttämällä tavalla. Geneettistä monimuotoisuutta tukevaa tutkimusta on tehty mm. järvi- ja merialueiden, nieriä ja merialueiden siikaan sekä Päijänteen vesistön taimeniin liittyen (kts. luku 4.1).

Vielä nykytilanteessa Luken ylläpitämän säilytysviljelyn ja tekemien velvoiteistutusten merkitys on elintärkeä usean lohikalakannan olemassaolon ja geneettisen monimuotoisuuden säilyttämiselle. Tulevaisuudessa lajien säilyminen ja monimuotoisuus pyritään siirtämään mahdollisimman paljon luontaisen lisääntymisen varaan.

Elinympäristökunnostuksilla, vaellusyhteyksien mahdollistamisella sekä kalastukseen liittyvällä säätelyllä pyritään enenevässä määrin turvaamaan uhanalaisimpien vaelluskalojen säilyminen alkuperäisillä elinalueillaan ja vähin erin parantamaan niiden tilaa kestäväällä tavalla verotettaviksi kannoiksi.

Keskeiset uhanalaisiin lajeihin liittyvät saavutukset

Viimeisen kymmenen vuoden aikana äärimmäisen uhanalaisen Vuoksen vesistön järvilohen elinympäristöjä on kunnostettu laajalti kannan alkuperäisiin lisääntymisjokiin, Pielisjokeen, Ala-Koitajokeen ja Lieksanjokeen. Voimaloiden yli siirrettyjen kutulohien lisääntymisestä kunnosteluilla koskialueilla [on saatu lupaavaa näyttöä](#): emokalat hyödyntävät uusia sorakoita kutupaikkoinaan, ja paikoin on syntynyt kohtalaisen korkeita 1-kesäisten lohien esiintymiä (Hatanpää ym. 2021, Leinonen ym. 2020). Ala-Koitajoen koealoilta lasketut minimitiheydet ovat olleet parhaimmillaan yli 50 poikasta aarille, mikä osoittaa, että järvilohen lisääntymistä on mahdollista saada aikaan jopa pienen virtaaman (4 m³/s) olosuhteissa. Vielä kunnostetuilta koskialueilta ei kuitenkaan synny kannan säilymisen turvaamiseen tarvittavia määriä luonnonpoikasia.

Viljelykierrossa ylläpidettäviä laitosemokalastoja on uusittu säännöllisesti, jopa vuosittain, kudulle palaavien emokalojen mädistä ja maidista, jatkossa mahdollisuuksien mukaan myös luonnossa syntyneistä jokipoikasista ([lue lisää Luken uutisesta](#)). Siten viljelyyn saadaan taltioitua arvokasta geenistöä ainakin osittaisen luonnonkierron läpikäyneistä kaloista.

Saimaan villin järvilohikannan toivo on toistaiseksi lähes yksinomaan Pielisjoen alimman Kuurnan voimalan yhteyteen vuonna 2019 rakennetun Laurinvirran poikastuotantoalueen varassa. Tämä on samalla ainoa merkittävä ympäristö, johon nousevilla kutukaloilla ja josta järvelle vaeltavilla poikasilla on esteetön kulkuyhteys. Järvilohen alhaisen geneettisen vaihtelun vahvistamiseksi on aloitettu selvitykset, voitaisiinko kannan perinnöllistä vaihtelua laajentaa tuomalla siihen uusia geenimuotoja toisten, maantieteellisesti läheisten merilohikantojen kanssa risteyttämällä.

Äärimmäisen uhanalaisen Euroopan ankeriaan esiintyminen lajityypillisimmillä kasvualueilla makeissa sisävesissä on Suomessa täysin Luken tekemien tuki-istutusten varassa. Rannikoillemme luontaisesti saapuvien poikasten määrä on nykyisin niin vähäinen, että ankeriaan esiintyminen myös murtovesissä perustuu pääosin istutuksiin. Luke on istuttanut viime vuosina kannanhoidollisin perustein rannikkovesiin sekä vesistöihin, joista on vapaa vaellusyhteys mereen, 60 000 ankeriaan poikasta vuodessa. Patojen yläpuolelle sisävesiin istutettujen ankerioiden mahdollisuus vaeltaa aikuisina turvallisesti mereen on tällä hetkellä rajallinen. Luke on seurannut Kokemäenjoella kaikuluotauksilla ankerioiden vaellusta alavirtaan vuodesta 2018 ja toteuttanut Kymijoen vesistöalueella vuodesta 2014 kutuvaellukselle lähtevien ankerioiden ylisiirtoa Lahden Vesijärvestä mereen Ahvenkoskenlahdelle. Kaikki kalat on merkitty ulkoisin kalamerkein tai ultraäänilähettimin. Tähänastisten tulosten perusteella ylisiirrettyjen kalojen kutuvaellus Itämeressä näyttää jatkuvan vapautuksen jälkeen normaalisti.

Vain luonnonlisääntymisen palauttaminen takaa uhanalaisten kalakantojen elinvoimaisuuden tulevaisuudessa

Laitosviljely ei takaa uhanalaisten vaelluskalakantojen elinvoimaisuutta pitkällä tähtäimellä, ja ne voidaan säilyttää Suomen kalastossa vain luontaista lisääntymiskiertoa palauttamalla. Rakennetuissa vesistöissä tämä edellyttää elinympäristökunnostusten ja kalastusrajoitusten ohella uusia vaellusyhteyksien ratkaisuiden järjestämistä (esim. Lieksanjoelle vuonna 2021 toteutettava vaelluspoikasten kiinteä kiinniottolaitte). Viljelyyn ja istukastuotantoon liittyviä monimuotoisuutta alentavia riskejä hallitaan paremmin käyttämällä laitosemokalastojen uusimisessa tehokkaita ja erilaisia hankinta- ja sukulaisuudenhallintamenetelmiä sekä kehittämällä ratkaisuja vakaviin kalatauteihin kuten vesihomeeseen.

Ankeriaan alasvaelluksen onnistumista sisävesistä mereen parannetaan. Ankeriaalle soveltuvien ohitusuomien ja niihin liittyvien ohjaimien sekä muiden teknisten kiinniottolaitteiden

rakennetta ja toimintaa selvitetään ja etsitään ankeriaan esiintymisen kannalta tärkeimmät kohdetteet niiden kokeilemiseen ja käyttöön.

3.5. Kalataloudellisella aluesuunnittelulla kohti kestävää kalavarojen käyttöä

Sanna Kuningas, Antti Lappalainen, Pauliina Louhi

Laadukkaan kalataloudellisen aluesuunnittelun ja kalojen tärkeiden lisääntymisalueiden kunnostusten tavoitteena on ollut tukea kalavarojen kestävää käyttöä ja hoitoa. Tärkeimpiä kohderyhmiä ovat olleet kalatalousalueet, osakaskunnat ja kalatalousalueiden jäsenet.

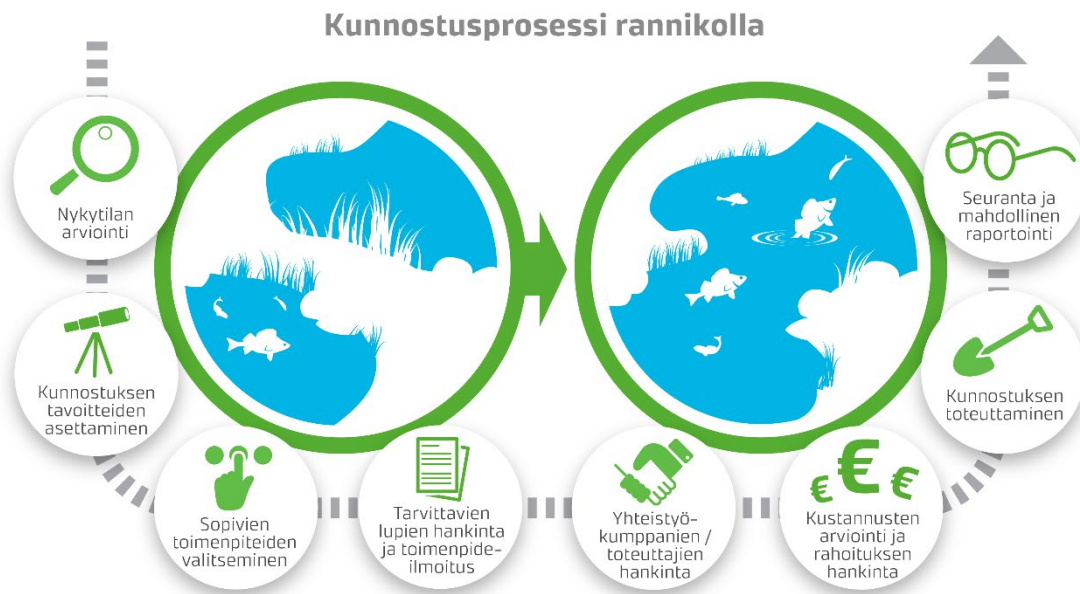
Keskeiset saavutukset: Kalatalousalueiden käyttö- ja hoitosuunnitelmien tukeminen

Luke tukee kalatalousalueita vuonna 2016 voimaan tulleen kalastuslain edellyttämien kalatalousalueiden käyttö- ja hoitosuunnitelmien tekemisessä (KHS). Kalastuslaki velvoittaa Suomen 118 kalatalousaluetta laatimaan omaa aluettaan koskevan käyttö- ja hoitosuunnitelman vuoden 2021 loppuun mennessä. Lain tavoitteena on, että kalavarojen käyttö ja hoito perustuisivat nykyistä laadukkaampiin ja sitovampiin alueellisiin hoitosuunnitelmiin, joiden valmistelu perustuu parhaaseen mahdolliseen olemassa olevaan paikka-, tutkimus- ja seuranta-tietoon. Suunnitelmat hyväksyy ELY-keskus ja ne ovat voimassa 10 vuoden ajan.

Luonnonvarakeskus on ollut tiiviisti mukana KHS-työn suunnittelussa laatimalla mm. KHS-mallirungon sekä esimerkkisuunnitelman Porvoon-Sipoon kalatalousalueen merialueelle ja useita tilanne-esimerkkejä, joita on esitelty laajasti sidosryhmille (tutustu kalatalousalueiden käyttö- ja hoitosuunnitelmien valmistelun tueksi valmisteltuun tietopakettiin [tästä](#)). Luonnonvarakeskus on myös tuottanut ohjeistuksia olemassa olevien paikkatietoaineistojen ja menetelmien käyttöön KHS-työssä (Erkamo ym. 2019, Lappalainen ym. 2019, Salminen ym. 2018, Salminen ym. 2019). Näillä esimerkeillä ja ohjeistuksilla on ollut suuri vaikuttavuus kalatalouden aluesuunnittelun yhtenäistämiseksi koko maan mittakaavassa.

Kalatalousalueiden käyttö- ja hoitosuunnitelmia tukevan tutkimuksen tekeminen jatkuu

Luonnonvarakeskus tuottaa jatkossakin tietoa, jota kalatalousalueet tarvitsevat käyttö- ja hoitosuunnitelmien päivitystyössä. Lisäksi Luonnonvarakeskus tulee tuottamaan tietoa rannikon kalataloudellisten kunnostusten suunnitteluun, toteuttamiseen ja seurantaan.



Kuva 4. Kunnostusprosessi rannikolla.

KALATALOUDELLINEN KUNNOSTUS

Kalojen luontaisen lisääntymisen mahdollisuudet ovat heikentyneet monin paikoin useista ihmistoiminnoista, kuten rehevöitymisestä ja rakentamisesta, johtuen. Kalastuslain tavoitteena on tukea kalakantojen luonnonlisääntymistä ja sitä edistäviä kunnostustoimia.

Kalataloudellisia kunnostuksia (Kuva 4) ja niihin liittyviä seurantoja on toteutettu niin sisäkuin rannikkovesissäkin Luonnonvarakeskuksen toimesta. Parhaiten soveltuvista kunnostus- ja seurantamenetelmistä kootaan tietoa ja sitä jaetaan laajasti eri sidosryhmille. Oikein kohdistetuilla ja toteutetuilla kunnostustoimenpiteillä pyritään tukemaan kalavarojen elinvoimaisuutta jatkossakin.

Kunnostustoimien rahoituksessa yhä tärkeämmäksi tulee jatkossa toiminnan tulosperusteisuus, jolloin toiminnan tuloksellisuuden painoarvo kasvaa.

3.6. Hyvinvointia ja virkistystä vesistä

Heidi Pokki, Pia Smeds

Tutkimuksen tavoitteena on ollut yhdistää vesiympäristön hyvinvointi- ja virkistysvaikutuksia (ml vapaa-ajankalastus) luontosuhteen ja luontoyhteyden vahvistamiseksi ja luoda niin kutsuttuja kulttuurisia ekosysteemipalveluja. Toiminta on ulottunut yksityisen ja kolmannen sektorin toiminnasta aina vapaa-ajan toimintaan saakka.

Ensinnäkin, tavoitteena on ollut selvittää kansainvälisten luontomatkailutrendejä, tehdä toimintaympäristöjen analyysejä, selvittää vesiympäristön koettuja hyvinvointivaikutuksia kansallisella ja kansainvälisellä tasolla, sekä kehittää malleja ja materiaalia sote- sekä kasvatusalan sektoreille.

Toisekseen, tavoitteena on ollut tuottaa laadukasta tilasto- ja tutkimustietoa vapaa-ajankalastajista, vapaa-ajankalastuksesta harrastuksena (mm. saaliista, käytetyistä pyydyksistä, kalastuspäivistä), vapaa-ajankalastajien matkustamisesta, sekä rahankäytöstä ja vapaa-ajankalastuksen taloudellisesta arvosta. Tietoa voivat hyödyntää kaikki vapaa-ajankalastustiedosta kiinnostuneet, kuten esimerkiksi kalataloushallinto, vapaa-ajankalastuksen etujärjestöt, tutkimus, yrittäjät, aluehallinto, vapaa-ajankalastajat ja kansalaiset.

Keskeiset saavutukset

Vesistöt tarjoavat edellytyksiä monenlaiseen yrittäjyyteen (Kuva 5) ja ns. **kulttuuriset ekosysteemipalvelut ovat nouseva trendi**. Hyvinvoiva ja puhdas vesiympäristö on rikkaus, joka kestävästi ja kunnioittavasti hyödynnettynä tarjoaa mahdollisuuksia hyvinvoinnin vahvistamiseen ([Tutustu Hyvinvointia luonnonvesistä -julkaisuun](#)).

Luontomatkailu, ja etenkin luontomatkailu, joka liittyy niin luonnon kuin ihmisen hyvinvoinnin vahvistamiseen, on kasvussa. Painopiste on siirtymässä matkailuun, joka on paitsi kestävä, myös jollain tavalla muuttaa ihmistä (transformative travel). Tämä tarkoittaa sitä, että hedonististen päämäärien sijaan ”huomisen matkailija” hakee kohteita, jotka kehittävät heitä ihmisenä sekä kuormittavat ympäristöä mahdollisimman vähän (esim. Nordic Nature Health Hub-hanke).

Uusin palveluyrittäjyyden muoto on toiminnalliset, kuntouttavat hoivapalvelut. Yksityiset pienet yritykset ovat nousemassa uusina toiminnallisen kuntoutuksen palvelujen tarjoajina (BlueCare -hanke).

Opettajille suunnattu opas (Temaattinen ulko-opetus sinisessä ympäristössä - opettajan opas [suomeksi](#) ja [ruotsiksi](#)), joka perustuu tutkimukseen ja käytännön esimerkkeihin, on valmis-tunut. Kouluille suunnattua materiaalia, joka kertoo miten opettaja voi hyödyntää vesiluontoa vahvistamaan lasten ja nuorten hyvinvointia sekä hyödyntää tätä oppimisen tukena, on aikaisemmin ollut vähän.



Kuva 5. Luonnonvedet tarjoavat monenlaisia hyvinvointipalveluja ja hyötyjä.

Vapaa-ajankalastus merkittävä vapaa-ajankäyttömuoto

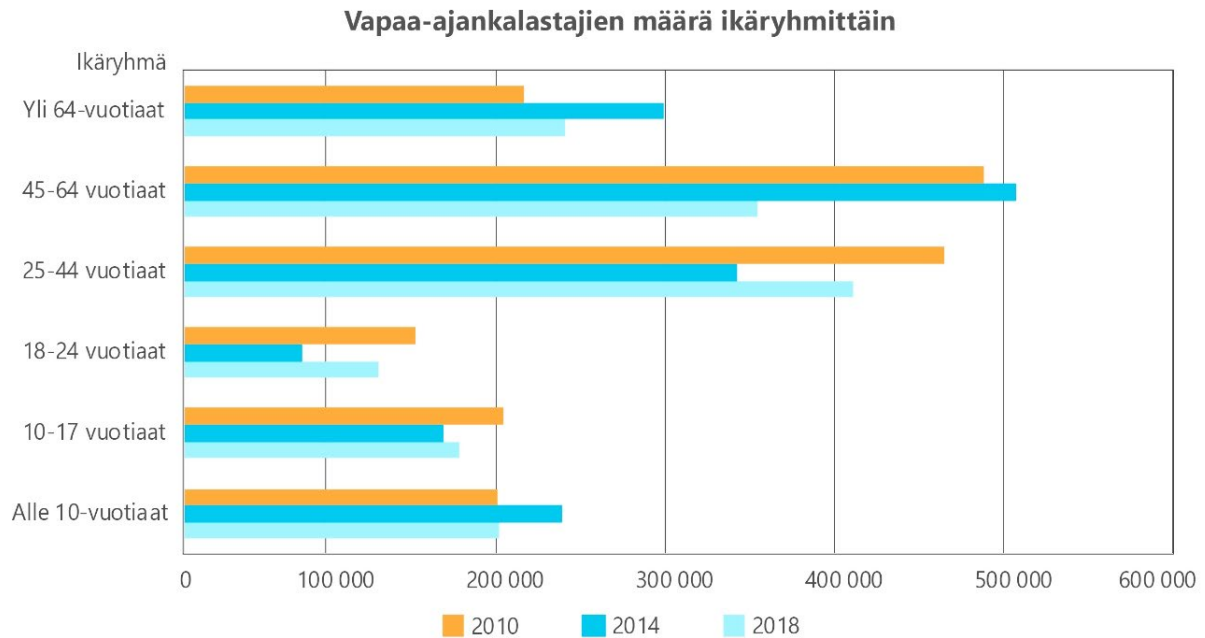
Vapaa-ajankalastusta harrastaa 1,5 miljoonaa suomalaista. Miehistä kalastaa 37 prosenttia ja naisista 18 prosenttia. Lapissa ja Pohjois-Karjalassa asuvat kalastavat aktiivisimmin vapaa-aikaan: noin 40 % näiden alueiden väestöstä kalastaa. Etelä-Savossa kalastavien osuus oli suurin vielä vuonna 2014, mutta osuus on laskenut selvästi viime vuosina. Suurin osa vapaa-ajankalastajista on 25–44-vuotiaita ja tässä ikäryhmässä myös kalastusharrastajien osuus on suurin aikuisväestöstä, 30 % (Kuva 6).

Vuonna 2018 vapaa-ajankalastajien kokonaissaalis oli yli 22 miljoonaa kiloa, josta yli puolet oli ahventa ja haukea. Saaliista oli pyydetty verkoilla enää 30 prosenttia, kun vielä vuonna 2000 osuus oli puolet. Heittovavalla kalastamalla ja vetouistelemalla saatiin saaliista yhteensä 38 prosenttia. Suosituin pyydys on edelleen onki, mutta onkijoiden määrä on vähentynyt kolmanneksella vuosituhatvuoden alkuun verrattuna.

Vapaa-ajankalastajien mieltymyksissä on eroa mm. sen suhteen, missä ympäristössä, millä kalastustavalla ja mitä kohdelajia kalastetaan. Lisäksi kalastajien välillä on eroa kalastusaktiivisuuden ja matkustamishalukkuuden ja rahankäytön välillä eli kuinka usein ja kuinka pitkiä kalastusreissuja tehdään, missä maakunnassa kalastetaan ja miten paljon rahaa kalastusharrastukseen käytetään. Kalastusmuotojen ja kalastusaktiivisuuden eroja voidaan käyttää hyväksi vapaa-ajankalastajien profiloinnissa, jolloin samalla tavalla käyttäytyvät kalastajat voidaan tunnistaa kuuluvaksi tiettyyn kalastajaprofiiliin. Tämä helpottaa kalastajien käyttäytymisen selittämistä, kun erilaiset profiilit reagoivat mm. kalakantojen hoitoon liittyviin politiikkatoimenpiteisiin eri tavalla. Lisäksi profilointi antaa lisävalaistusta kalastajien maksuhalukkuuteen ja tarkentaa arvioita vapaa-ajankalastuksen virkistysarvosta.

Ensimmäisenä tavoitteena on jatkaa *transformative travel* –teeman tutkimista, vesistöjen fysiologisten ja psykologisten vaikutusten mittaamista sekä tukea luonnon kestävyuden huomioivan yritystoiminnan kehitystä.

Tulevaisuuden toisena tavoitteena on tuottaa tarkempaa aluetason tietoa vapaa-ajankalastuksesta tilastotietokannassa (PxWeb) ja julkaista uutta tutkimustietoa vapaa-ajankalastajien matkustamisesta ja vapaa-ajankalastuksen taloudellisesta merkityksestä.



Lähde: SVT: Luonnonvarakeskus, vapaa-ajankalastus

Kuva 6. Vapaa-ajankalastajien määrä Suomessa.

4. Kalageneettinen tutkimus ja jalostustyö

Katri Kärkkäinen (toim.)

4.1. Luonnonvaraisten kalakantojen genetiikka

Marja-Liisa Koljonen

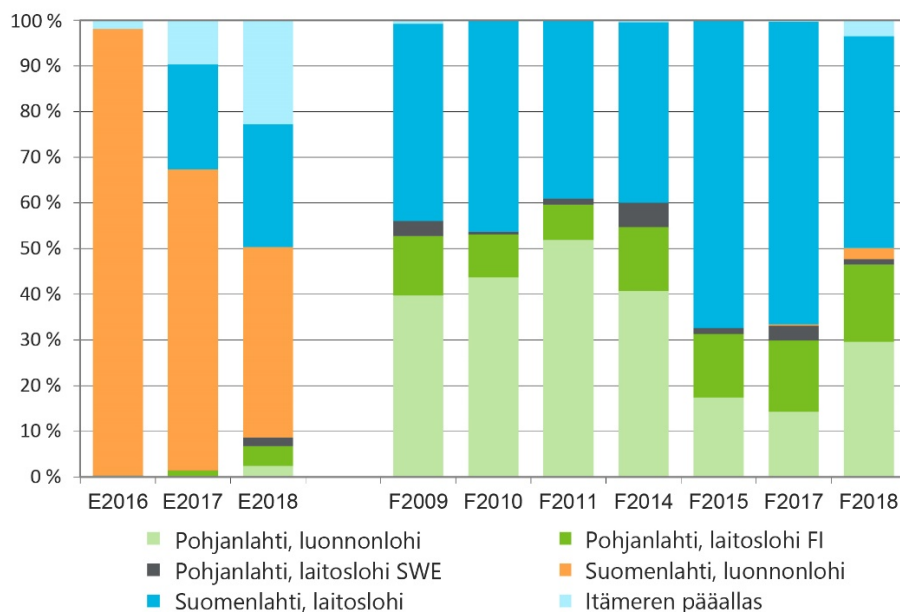
Ensimmäisenä tavoitteena geneettisessä tutkimuksessa on ollut turvata luonnonvaraisten, hyödynnettävien ja uhanalaisten kalavarojen elinkyvyn ja geneettisten resurssien pysyvä säilyminen ensisijaisesti niiden luonnonvaraisessa elinympäristössä. Kalavarojen geneettisiä resursseja uhkaavat jatkuvasti sekä ympäristömuutokset että usein myös tehokas hyödyntäminen.

Toisekseen tavoitteena on ollut tuottaa tietoa ja suosituksia päättäjille ja kalavarojen hoitajille sekä luonnossa elävien kalakantojen että viljelyllä tuettujen kalakantojen kestäväksi hoitamiseksi.

Tutkimuksen kohdelajit ja kannat vuosina 2015–2020 ovat olleet Itämeren lohi, järvilohi, Pohjanlahden siikakannat, sekä Päijänteen vesistön, Oulunjoen vesistön, Vuoksen vesistön, Inarijärven, Isojoen, Kauhajoen vesistön ja Siuntionjoen taimenkannat ja Pirkanmaan alueen kuha-kannat.

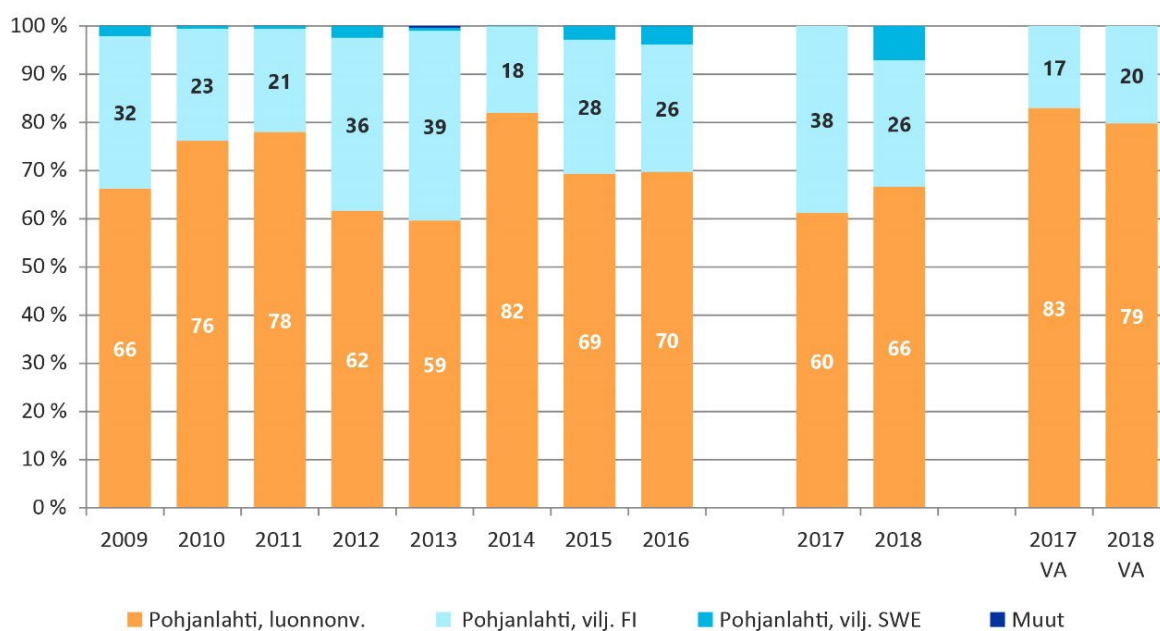
Keskeiset saavutukset

Suomenlahdella suomalaiset ja virolaiset kalastavat eri lohikantoja. Kalastuksen säätelyn kannalta on olennaista tietää kunkin alueen saaliin koostumus luonnonvaraisen tuotannon suojelemiseksi. Noin puolet Suomenlahden suomalaisista saalisnäytteistä on peräisin Kymijokeen istutetusta Nevan lohesta, ja loput ohivaeltavista Pohjanlahden lohikannoista (Kuva 7). Virolaisten saalisnäytteissä Pohjanlahden kantojen ja suomalaisen istutetun Nevan lohen osuus on pieni. Kaikkein yleisin kanta virolaisten näytteissä oli osin istutettu Kundajoen lohi (40 % saaliista), seuraavaksi yleisimpiä olivat Keila-joen luonnonlohikanta (17 %) ja Venäjän rajalla sijaitsevan Narvan viljelty lohikanta (12 %).



Kuva 7. Virolaisten (E) ja suomalaisten (F) lohisaaliin koostumus Suomenlahdella.

Vuoden 2017 lohienkalastuskauden aikaistaminen lisäsi luonnonvaraisen lohien osuutta saaliissa. Aikaistetulla lohienkalastuskaudella luonnonvaraisen lohien osuus saaliissa oli noin 20% korkeampi kuin aiemmin voimassa olleella kalastuskaudella. Pohjanlahden lohinäytteissä luonnonvaraisen lohien osuus oli aiemmin voimassa olleella kalastuskaudella vuosina 2017 ja 2018 keskimäärin noin reilut 60 %. Varhennetulla kalastuskaudella luonnonvaraisen lohien osuus oli molempina vuosina suurempi, noin 80 % (Kuva 8).

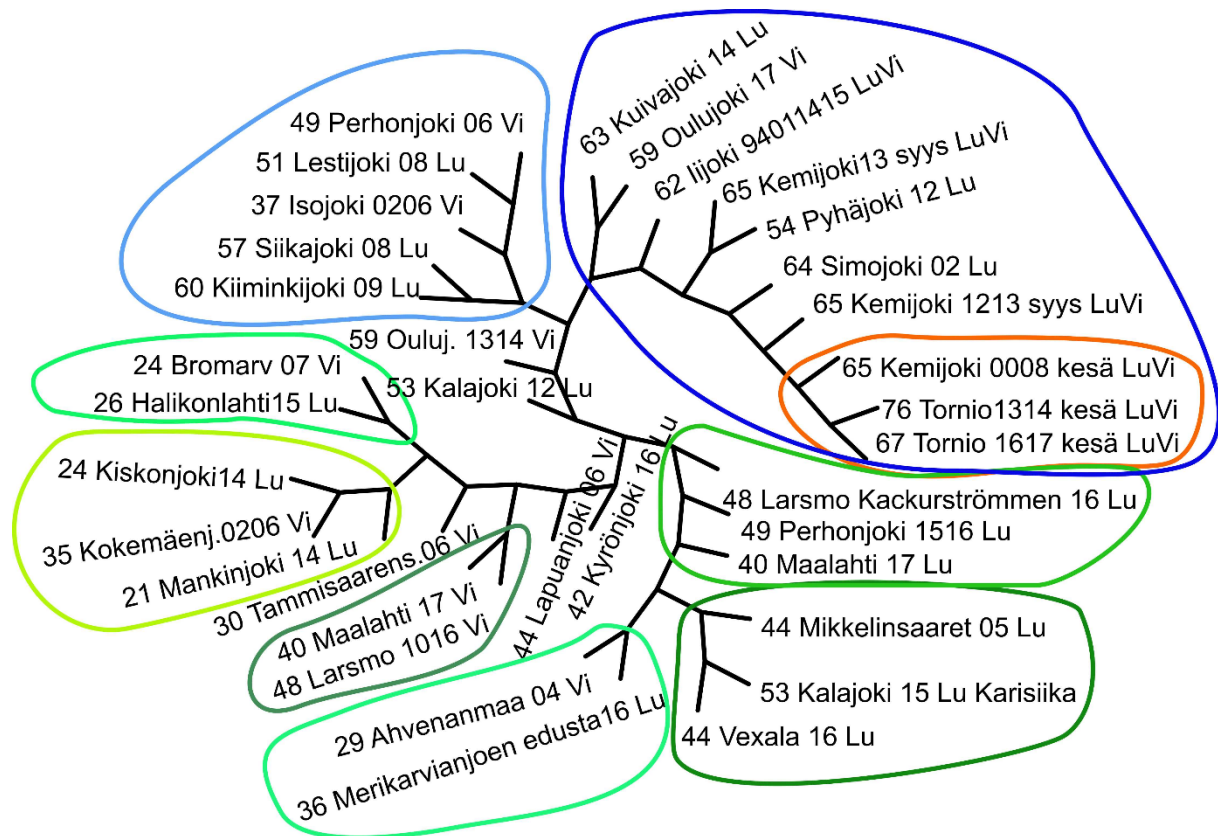


Kuva 8. Kantaryhmäosuudet prosentteina suomalaisten Pohjanlahden lohisaaliissa vuodesta 2009 lähtien. Saaliit sekä aiemmalle kalastuskaudelle ennen vuoden 2017 kalastuksen

aikaistusta että 2017 ja 2018 erikseen varsinaisella kaudella ja varhennetulle kaudelle (2017 VA ja 2018 VA).

Päijänteen ja sen latvojen reittivesille luotiin taimenkantojen hoito-ohjeet geneettisen monimuotoisuuden säilyttämiseksi. Suur-Päijänteen vesistön ja sen latvavesien taimenpopulaatiot muodostavat geneettisesti varsin hajanaisen kokonaisuuden ja tyypillistä on rajallisilla alueilla elävät pienet, pienten perhemäärien varassa elävät populaatiot, joiden geneettisen diversiteetin määrä oli jo paikoin alentunut (Koljonen ym. 2018). Taimenet ryhmittäytyivät useaan ryhmään, joiden geneettistä rakennetta erilainen istutustausta selitti. Vaeltavien taimenkantojen osuus oli pieni. Perinnöllisen rakenteen perusteella vesistöalueille voitiin ehdottaa vaeltavien taimenkantojen hoidon tehostamista ja pienten samankaltaisten populaatioiden muodostamisen hoitoyksiköiden muodostamista geneettisen monimuotoisuuden säilymisen turvaamiseksi.

Geneettisen kannantunnistuksen avulla voidaan ohjata Pohjanlahden uhanalaisten vaellussiian ja merikutuisten siian kalastusta kestävämmäksi. Siikakantojen esiintymisen perusteella voidaan ohjata siiankalastusta kohti kestävämpää suuntaa (Koljonen ym. 2019b). Geneettisen erojen perusteella voitiin Pohjanlahden alueelta erottaa vaellussiikojen ja merikutuisten siikojen 14 erillistä samankaltaisten siikojen ryhmää tai yksittäistä siikakantaa, jotka voitiin tunnistaa merialueen saaliista (Kuva 9). Tutkimuksessa tunnistettiin myös geneettisesti erilaisten siikakantaryhmien osuus kaupallisen kalastuksen saaliissa. Saalisnäytteiden perusteella kaupallisessa kalastuksessa pyydettiin Perämerellä pääasiassa jokikutuista kesäsiikaa, Merenkurkussa Perämeren vaellussiikoja ja Selkämerellä useampia eri kantoja koko Pohjanlahdelta. Lisäksi luotiin suositus siikakantojen hoitoyksiköiksi ja selvitettiin siikakantojen väliset kasvuerot.



Kuva 9. Siikakantojen välinen perinnöllinen rakenne juurettoman sukupuun avulla kuvattuna.

Järvilohen uusi luonnonvarainen lisääntyminen säilyttää perinnöllistä muuntelua. Sukulaisuusanalyysien perusteella äärimmäisen uhanalainen Saimaan järvilohi on onnistunut lisääntymään luonnossa. Järvilohipopulaatiota on ylläpidetty varsinkin laitoskasvatettujen emokalojen poikasilla (Leinonen ym. 2020). Luonnossa kasvaneet emokalat tuottavat kuitenkin enemmän jälkeläisiä kuin laitoskasvatetut emokalat. Järvilohen perinnöllisen monimuotoisuuden säilymistä voidaan jatkossa tukea valitsemalla lisääntymään geneettisesti mahdollisimman erilaisia emokaloja ja siirtää niitä kunnostetuille kutualueille lisääntymään luonnonvaraisesti.

Ilmaston lämpeneminen alentaa lohen sukukypsyyssikää ja pienentää kutukalan kokoa. Lämpiminä kesinä pienikokoisempien poikasten eloonjäänti parani, mikä lisäsi pienten kutukalojen osuutta. Samoin lämpeneminen edisti kasvua ja lisäsi yhden merivuoden koiraiden osuutta kutukannassa (Kallio-Nyberg ym. 2020).

Päättäjille ja kalavarojen hoitajille on tehty raportit ja suositukset Pohjanlahden siikakantojen sekä Vuoksen -, Kauhajoen -, Isojoen - ja Päijänteen vesistöjen ja Siuntionjoen taimenkantojen hoitoyksiköiksi ja hoitostrategioiksi.

Talouskalojen arvo on määritetty sekä tehty ehdotus laittomasti pyydettyjen kalojen korvausarvoiksi. Arvoja käytetään ympäristörakenteiden korvauksien määrittämisessä uuden kalastuslain mukaisesti (Koljonen ym. 2019a).

Geenivaroihin ja kalakantojen kestävään hyödyntämiseen liittyen on kehitetty uusi laboratoriomenetelmä dna-merkkien analysointiin, jota käytetään Saimaan nieriän biodiversiteetin ja emokalaston hallintaan. Tämä on edistysaskel, jonka avulla saadaan sukulaisuudet ja geneettinen monimuotoisuus mitattua entistä tarkemmin. Saimaan nieriä on uhanalainen ja sen perinnöllinen monimuotoisuus on varsin alhainen mikä vaikeuttaa sukulaisuuslaskentaa. Uusi menetelmä perustuu ~2500 dna -merkin genominlaajuiseen analysointiin. Menetelmän tuloksia käytettiin vuonna 2020 Saimaan nieriän emokalaston (Luken Kalageenivaratyö) uusimman sukupolven tekoon.

Tulevaisuuden tavoitteet

Systemaattinen osallistuminen kalakantojen alueellisten käyttö- ja hoitosuunnitelmien tekoon jatkuu. Geneettisen monimuotoisuuden säilyttämisperiaatteita sovelletaan viljeltävien kalakantojen viljelykäytäntöihin ja viljelysuunnitelmiin. Tulevaisuudessa geneettistä yksilöntunnistusta voidaan hyödyntää kalakantojen ominaisuuksien ja saaliskoostumuksen tutkimuksessa. Tärkeää on myös uhanalaisten kalakantojen geneettisen diversiteetin seuranta ja hallinta.

4.2. Ruokakalankasvatuksen genetiikka

Antti Kaase

Geneettisen kehitystyön ensisijaisena tavoitteena on ollut taloudellisesti kilpailukykyinen ja kestävä vesiviljelyn yritystoiminta kehittämällä uusia valintatyökaluja viljeltyjen kalojen ominaisuuksien perinnölliseksi parantamiseksi valintaohjelmilla. Toisena tavoitteena on ollut nostaa kestävä kala-arvoketjun omavaraisuusastetta Suomessa, ja lisätä kuluttajille tarjolla olevien kalatuotteiden kirjoa, kuten siikaa punalihaisten lohikalajien rinnalle. Kolmanneksi tutkimus- ja kehitystoiminnalla on tavoiteltu vesiviljelyn lisääntyvää ekologista kestävyyttä pienentämällä vesiviljelyn ympäristökuormitusta resurssitehokkaalla kalamateriaalilla ja parantamalla kalaterveyttä.

Keskeiset saavutukset

Luke ylläpitää siian ja kirjolohen kansallisia valintaohjelmia viranomaistoimintona (VOAS). Samat asiantuntijat, jotka ylläpitävät valintaohjelmia, tekevät tutkimus- ja kehitystyön, mikä on mahdollistanut hyvin sujuvan tutkimustuloksien siirron käytäntöön. Vaikuttavuus elinkeinon on vahva, koska noin 80 prosentilla kaupallisesti kasvatetusta kirjolohesta ja 40 prosentilla siasta on sukujuuret Luken valintaohjelmissa. Valintaohjelmilla parannetaan tasapainoisesti tuottavuutta, tuotelaatua ja kalaterveyttä sekä vähennetään ympäristökuormitusta.

Viljeltyjen kalojen rehutehoa ja filesaantoa pystytään parantamaan valintajalostuksella.

Nämä kaksi ominaisuutta ovat taloudellisesti erittäin tärkeitä yrityksille ja vaikuttavat merkittävästi vesiviljelyn ympäristökuormitukseen ja tuotannon hävikkiin. Rehuteho ja filesaanto ovat tähän asti olleet hyvin vaikeasti mitattavissa kaloista. Valintajalostustutkimus esitteli konseptin ja yhtälöt kalojen rehukertoimen parantamiseksi tavalla, jossa hyödynnetään kasvun, ruumiinkoostumuksen sekä metabolian perinnöllistä vaihtelua (Knap & Kause 2018).

Suomen rannikkoalueen vesiviljelyn rehukerroin on parantunut 80-luvulta alkaen 53 % ja typpi- ja fosforikuormitus vähentynyt yli 70 %. Kehitys käy ilmi kaupallisilta kasvattajilta kerätystä datasta. Valintajalostuksella aikaan saatu muutos vastaa noin 40 % tästä parantumisesta.

Uusia tilastomenetelmiä ja tapoja huomioida genotyypin-ja-ympäristön (GxE) yhteisvaikutus valintaohjelmissa on kehitetty.

Genotyypin-ja-ympäristön yhteisvaikutus määrää kuinka hyvin kalamateriaali sopii tiettyyn kasvatusympäristöön ja kuinka tasalaatuista kalamateriaali on. Tämä vaikuttaa elinkeinon tuottavuuteen ja kalaterveyteen ja siksi se on huomioitu myös valintaohjelmissa (Sae-Lim ym. 2016). Yksi lisäsovellus on uusi tilastomenetelmä mittaamaan taudinaiheuttajien vaikutusta kalan ominaisuuksiin, jota käytettiin mm. selvittämään kirjolohen vastustus- ja sietokykyä *Diplostomum*-silmäloista vastaan.

Kirjolohen vastustuskykyä ja sietokykyä Suomessa yleistä *Diplostomum*-silmäloista vastaan voidaan parantaa valintajalostuksella tuottavuutta heikentämättä ([Hanna Kuukka-Anttilan väitöstutkimus 2020](#)). Kirjolohen vastustuskykyä loisen aiheuttamalle silmäkaihille parannetaan kirjolohen valintaohjelmassa. *Diplostomum*-silmälöinen on ollut vesiviljelyn kannattavuutta ja kalaterveyttä merkittävästi alentava tekijä.

Kehitystyötä on toteutettu useissa kansainvälisissä R&D&I hankkeissa yhteistyössä yritysten kanssa.

Näistä merkittävimpiä ovat olleet EU-hankkeet 'FISHBOOST - Improving European Aquaculture by Advancing Selective Breeding to the Next Level', 'ArctAqua - Cross boarder Innovations in Arctic Aquaculture' sekä Luken koordinoima ['AqualMPACT - Genomic and Nutritional Innovations for Genetically Superior Farmed Fish to Improve Efficiency in European Aquaculture'](#). Kehitystyö on vuosina 2015-2020 dokumentoitu yhteensä 17 tieteellisessä artikkelissa, sekä niistä tehdyissä 15 ammattilehtiartikkelissa.

Tulevaisuuden tavoitteet

Suurin tulevaisuuden tavoite on siian ja kirjolohen kalaterveyden ja resurssitehon edistäminen genomisella valinnalla. Viljeltyjen kalojen terveys on iso nouseva megatrendi, ja resurssiteho vaikuttaa kannattavuuteen ja ympäristökuormitukseen. Genomisessa valinnassa yksilöiden perinnöllinen potentiaali periyttää ominaisuuksia ennustetaan yksilön dna-profilista. Tämä mahdollistaa sekä yhä tarkemman ominaisuuksien valinnan että uusien ominaisuuksien parantamisen (mm. tautien vastustuskyky). Genominen valinta on rutiinikäytössä valintaohjelmissa mm. naudoilla, possuilla, kanoilla ja lohella.

5. Lisäarvotuotteet vesiluonnonvaroista

Sari Mäkinen (toim.)

5.1. Vähäarvoiset kalat ja kalasivutuotteet hyötykäyttöön

Jaakko Hiidenhovi, Anna-Liisa Välimaa, Vesa Joutsjoki, Sari Mäkinen, Jari Setälä, Pirjo Mattila

Tavoitteena vajaahyödynnettyjen kalavarojen ja kalateollisuuden sivuvirtojen tehokas hyödyntäminen. Suomen kaupallisen kalastuksen saalismäärä on noin 200 miljoonaa kiloa, josta Itämerestä pyydetty silakka ja kilohaili kattavat noin puolet. Kalavarantomme arvo jää kuitenkin pieneksi, koska se käytetään pääosin turkiseläin- tai kalarehujen raaka-aineena. Esimerkiksi silakasta ja kilohailista vain noin neljä prosenttia käytetään kotimaassa elintarvikkeeksi. Rannikolla ja järvissä on vielä hyödyntämättömiä kalavaroja, joille pitäisi löytää järkevä käyttötarkoitus. Lisäksi suomalainen kalateollisuus käyttää noin 80 miljoonaa kiloa raaka-ainetta, jonka jalostuksesta syntyy suuria määriä sivuvirtoja. Esimerkiksi lohikalojen jalostuksessa syntyy yli 10 miljoonaa kiloa fileointijäännöksiä. Jos kalasaaliit ja niiden sivuvirrat hyödynnettäisiin korkean lisäarvon tuotteina, niiden arvo moninkertaistuisi.

Vähäarvoisista kaloista ja kalasivuvirroista voidaan eristää esimerkiksi proteiineja ja peptidejä, öljyä ja mineraaleja. Tarvitaan uusia prosesseja ja arvoketjuja, jotta nämä raaka-aineet saadaan parempaan käyttöön elintarvikkeissa, ravintolisissä ja esimerkiksi kosmetiikan ainesosina Suomessa. Lukessa on sovellettu ja kehitetty Suomen olosuhteisiin ja volyymeihin sopivia erotusprosesseja arvojakeiden tuottamiseksi. Kehitetyt prosessit ovat yksinkertaisia, ympäristöstä- ja helposti skaalattavissa suurempaan mittakaavaan (Kuva 10).

Keskeiset saavutukset

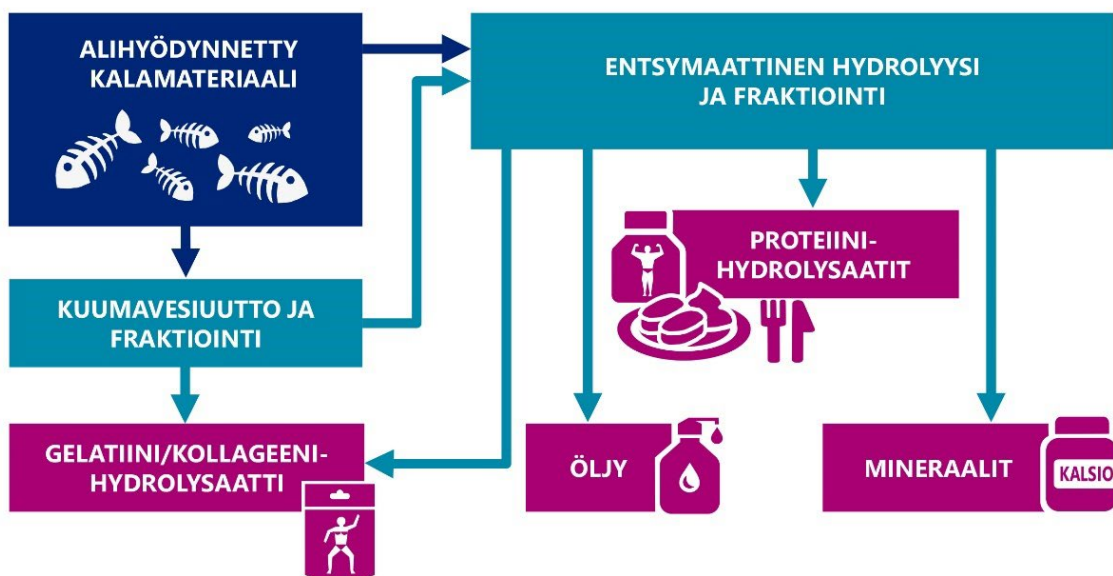
Tutkimuksesta ratkaisuja kalojen arvokkaiden proteiinien ja peptidien hyödyntämiseen. Kalaproteiini sisältää runsaasti välttämättömiä aminohappoja ja on hyvin imeytyvää. Yleisin tapa hyödyntää kalaproteiinia on prosessoida kalateollisuuden sivuvirrat kalajauhoksi. Luonnonvarakeskuksen tutkimuksissa kalaraaka-aineesta on valmistettu proteiinikonsentraatteja, joilla on hyvät emulgointi- ja geelinmuodostusominaisuudet. Niitä hyödynnetään erilaisissa kalateollisuuden tuotteissa. Kehitystyö kalaproteiinihydrolysaattien valmistamiseksi on myös ollut menestyksestä: niitä valmistetaan pääasiallisesti kaupallisten entsyymien avulla, jolloin proteiinin rakenne pilkkoutuu peptideiksi ja aminohapoiksi. Kalaproteiinihydrolysaatit liukenevat hyvin veteen ja niiden ravitsemuksellinen arvo on erinomainen. Niitä hyödynnetään elintarvikkeiden lisäksi esimerkiksi rehuissa ja mikrobien kasvualustoissa.

Kalapeptideillä arvioidaan olevan korkea kaupallinen potentiaali erilaisina ravintolisä-, lääke- sekä kosmetiikkasovelluksina. Niiden kaupallistamisen suurimmat haasteet ovat aistinvaraisen laadun varmistaminen ja terveystieteiden todentaminen. Luonnonvarakeskuksen tutkimuksissa on havaittu, että silakan ja särjen sivuvirroista tuotetuilla kalapeptideillä on esimerkiksi verensokerin säätelyyn vaikuttavia ominaisuuksia. Jatkotutkimuksissa selvitetään tarkemmin niiden hyödyntämismahdollisuuksia. Mahdollisesti niitä voitaisiin käyttää ravintovalmisteina verensokeritasapainon edistämiseksi ja diabeteslääkityksen tukena. Lisäksi Lukessa tutkitaan kalapeptidien antimikrobisuutta sekä ruokamyrkytystä aiheuttavien bakteerien, että elintarvikkeiden pilaajamikrobeja vastaan.

Tutkimuksella tietoa kalagelatiinin tuotteistusmahdollisuuksista. Luonnonvarakeskuksen tutkimuksissa on havaittu, että suomalaisista kaloista saatavalla gelatiinilla on alhainen

sulamispiste, joten se soveltuu erityisesti pakastetuotteisiin tai kylmässä säilytettäviin tuotteisiin, jotka nautitaan pian sulatuksen tai jääkaapista oton jälkeen. Lukessa kalagelatiinia on kehitetty esimerkiksi proteiinijäätelön valmistuksessa. Koejäätelön haju ja maku olivat mietoja ja suutuntuma miellyttävä. Lisäksi Lukessa tutkitaan kalagelatiinin hyödyntämistä biohajoavien kalvojen valmistuksessa. Yleinen kiinnostus kalaperäiseen gelatiiniin on lisääntynyt, koska sen käyttöön ei ole uskonnollisia rajoitteita ja se käy myös kalaa syöville vegetaristeille.

Kotimaista kollageenihydrolysaattia entsymaattisen hydrolyysin avulla. Ulkomailla valmistettua kalakollageenihydrolysaattia käytetään Suomessa monissa eri sovelluksissa, kuten kosmetiikkatuotteissa, ravintolisissä, välipalapatukoissa ja juomissa. Sekä gelatiinia että kollageenihydrolysaattia voidaan valmistaa myös kotimaisista kaloista. Jos valmistukseen käytetään vajaahyödynnettyjä kaloja ja kalasivuvirtoja, on raaka-aine halpaa ja käyttö ympäristöystävällistä.



Kuva 10. Kalan kokonaisvaltainen hyödyntäminen. Prosessikehitys kohti uusia tuotteita.

Kotimaista kalaöljyä markkinoille. Kuluttajien keskuudessa kalaöljy on varmasti tunnetuin kalasta valmistettu lisäarvotuote. Kaupoista löytyykin useita erilaisia kalaöljytuotteita sekä ihmisille että lemmikeille, joista osa on valmistettu kotimaisesta kirjolohesta. Kalaöljy on tärkeä n-3 tyydyttymättömien rasvahappojen, kuten eikosapentaeenihapon (EPA, C20:5) ja dokosaheksaeenihapon (DHA, C22:6) lähde. EFSA (Euroopan elintarviketurvallisuusviranomainen) on hyväksynyt useita terveysväitteitä EPA:lle ja DHA:lle liittyen esimerkiksi normaalin verenpaineen ja aivotoiminnan ylläpitämiseen.

Hyvälaatuista "neitsytöljyä" kirjolohen perkuun sivutuotteista. Luken tutkimuksissa on löydetty keino valmistaa kalasta minimaalisesti prosessoitua "neitsytöljyä". Ympäristötietoisuuden lisääntyessä yhä useampi kuluttaja toivoo, että minimaalisesti prosessoituja luonnontuotteita olisi saatavilla. Kalaöljyn valmistuksessa käytetään usein korkeita lämpötiloja, jotka alenavat öljyn laatua, mutta Luken tutkimuksissa on havaittu, että kirjolohen perkauksen yhteydessä erotetuista vatsaliepeistä ja sisäelinrasvasta on mahdollista tuottaa matalissa lämpötiloissa mekaanisen erotusprosessin avulla niin sanottua "neitsytöljyä". Tähän mennessä kirjolohesta perkauksessa sivutuotteena saatavaa viskeraalirasvaa on käytetty lähinnä rehuna minkikitarhoilla ja bioenergian tuotannon raaka-aineena. Luken tutkimuksissa on selvitetty viskeraalirasvan talteenoton teknisiä mahdollisuuksia ja haasteita yhdessä yritysten kanssa. Tulosten

perusteella viskeraalirasvan talteenottoon tarvittavat työvaiheet eivät lisää merkittävästi per-kaukseen käytettävää aikaa. Tuotetun kalaöljyn mikrobiologinen laatu todettiin hyväksi, mikä osoittaa, että viskeraalirasvan talteenotto- ja kalaöljyn erotusprosessi on hygieniatasoltaan riittävä elintarvikekelpoisen öljyn tuottamiseen.

Kalan ruodot ja suomut ovat hyviä mineraalien, kuten kalsium ja fosfori, lähteitä. Kalsium on sekä ihmisille että eläimille ravitsemuksellisesti tärkeä kivennäisaine, erityisesti lujan ja terveen luuston ylläpitämiseksi. Markkinoilta on jo kalanruodoista valmistettuja kalsiumravintolisiä, jotka ovat tarkoitettu ihmisille tai eläimille (koirat ja hevoset). Käsittämällä ruotoja korkeissa lämpötiloissa niistä saadaan hydroksiapatiittia, jota voidaan käyttää luusiirremateriaalina lääketieteeseen ja hammaslääketieteeseen sovelluksissa. Kalsiumia ja fosforia voidaan myös hyödyntää rehu-, lannoite- ja kemianteollisuudessa. Luken tutkimuksissa on kehitetty prosessikokonaisuuksia, jossa mineraalit voidaan ottaa talteen kalasivutuotteista gelatiinin ja proteiinihydrolysaattien tuoton yhteydessä (Kuva 10).

Alihyödynnetyt mädit ja sisäelimet käyttöön. Luken tutkimuksissa on havaittu, että monet alihyödynnetyt mädit (ahven, kuha ja hauki) sisältävät runsaasti D-vitamiinia, jopa 100 µg/100 g tuorepainosta. Esimerkiksi kuivaamalla niistä voisi saada luontaisia D-vitamiiniravintolisiä. Kalan sisäelimet puolestaan ovat potentiaalinen ruoansulatusentsyymien lähde. Vaihtolämpöisten kalojen selviytyminen kylmässä vedessä edellyttää entsyymien aktiivisuutta alhaisissa lämpötiloissa. Varsinkin elintarvike- ja pesuaineteollisuutta kiinnostavat tällaiset entsyymit. Esimerkiksi silakan perkeet ovat Luken tutkimuksissa osoittautuneet potentiaalisiksi entsyymilähteiksi.

Tavoitteena silakan laadun parantaminen. Suomen suurin ja taloudellisesti merkittävin kalansaalis muodostuu silakasta ja kilohailista, mutta valtaosa saaliista käytetään turkiseläinten rehuksi tai kalajauhoksi, ja vain pieni osa käytetään suoraan (kotimaisena) elintarvikkeena (Taulukko 2). Koska silakkasaaliista iso osa päätyy rehukäyttöön, kyseisen osan laatua ei ole tarvinnut pitää elintarvikesilakan tasolla, vaan rehulaatu on riittänyt. Ilmeisin tapa nostaa kotimaisen silakkakiintiön arvoa olisi käyttää siitä aiempaa suurempi osa elintarvikkeisiin ja korkean lisäarvon erikoistuotteisiin. Jotta suurempi osa saaliista saataisiin elintarvikekäyttöön, pitää raaka-ainekalan laatu nostaa erinomaiselle tasolle.

Taulukko 2. Silakan ja kilohailin käyttö vuosina 2014 ja 2018 (milj. kg).

Vuosi	2014	2018
Kotimaa/Ulkomaat	Kotimaa	Ulkomaat
Ihmisravinto	5	18
Turkistarhat	-	-
Kalajauho- ja rehu	72	48
Yhteensä	83	66

Jotta laatua voi parantaa, se pitää pystyä määrittämään tehokkaasti kalaketjun eri vaiheissa. Blue Products -ohjelma kokosi tiedon olemassa olevista kalan laadun määrittämismenetelmistä, sekä arvioi niiden soveltuvuutta kotimaisen kalasektorin käyttöön. Erityinen huomio oli analyysimenetelmien soveltuvuudessa silakan laadun mittaamiseen joko kalaketjun toimijoiden käytössä tai tutkimuksen apuvälineinä. Raportissa todettiin tarve kehittää uusia pikamenetelmiä erityisesti silakan laadun tarkkailuun arvoketjun eri vaiheissa. Selvityksen perusteella erityisen lupaavilta uusilta edullisilta ja helppokäyttöisiltä pikamenetelmiltä silakan laadun

mittaamiseen ketjun eri vaiheissa kalastusalukselta lähtien vaikuttavat esimerkiksi impedanssimittaus ja laatuindeksiin perustuva älylaite-sovellus. Molemmat menetelmät tarvitsevat testausta ja kalibrointia silakalla. Laadun mittaamisen helpottamiseksi silakalle tulee myös määrittää laatuindeksi, joka on määritetty monille elintarvikekalloille kuten esimerkiksi lohelle ja turskalle. Menetelmiä tullaan hyödyntämään silakan laadun parantamiseen tähtäävässä koesarjoissa yhteistyössä yritysten kanssa.

Lisäarvotuotteiden valmistamisen kaupallistaminen. Uudet tuotantomenetelmät otetaan käyttöön, jos ne osoittautuvat kaupallisessa mittakaavassa kannattavaksi. Luonnonvarakeskus on VTT:n ja Turun Yliopiston kanssa kartoittanut yritysten mahdollisuuksia lisäarvotuotteiden valmistukseen ja tehnyt tiekartan lisäarvotuotteiden kaupallistamisen helpottamiseksi. Tiekartassa arvioidaan keskeisten tuotantomenetelmien kustannuksia ja tuottoja sekä kannattavaan tuotantoon tarvittavia raaka-ainemääriä.

Tulevaisuuden tavoitteet

Kotimaisen kalan edistämishojelman tavoitteena on lisätä suomalaisten kalan käyttöä ravitsemussuosittelun tasolle. Jos kalan käytön lisäys perustuisi kotimaiseen kalaan, se kaksinkertaistaisi kotimaisen kalan käytön. Tällöin silakka ja muut vajaasti elintarvikkeeksi hyödynnetyt kotimaiset kalavarat tulisi ottaa käyttöön. Edistämishojelmassa on myös tarkoitus lisätä kalan arvoa jalostusastetta ja vientiä edistämällä. Tämä lisää Suomessa jalostetun kalan määrää ja teollisuuden sivuvirtoja.

Tutkimuksella on edistämishojelman tavoitteiden toteuttamisen tukemisessa aivan keskeinen asema. Silakalle, vajaasti hyödynnetyille kalavaroille ja teollisuuden sivuvirroille pitää nykyisten käyttömuotojen rinnalle kehittää kannattavia tapoja valmistaa uusia elintarvikkeita ja lisäarvotuotteita. Tähän mennessä tehty tutkimustyö on vasta lähtölaukaus pitkäjänteiselle kotimaisen uuden teknologian kalanjalostuksen kehittämiselle.

Suurin tulevaisuuden tavoite onkin kotimaiseen kalaan pohjautuvien uusien elintarvikkeiden ja korkean lisäarvon tuotesovellusten tuominen käytäntöön yhteistyössä elinkeinon kanssa. Vähäarvoisten kalojen ja kalan prosessoinnin sivutuotteiden hyödyntämisellä voidaan saada aikaan merkittäviä myönteisiä vaikutuksia talouteen, ympäristöön ja kansanterveyteen.

KALASTUKSEN INNOVAATIO-OHJELMASTA RATKAISUJA KOTIMAISEN KALAN ARVON LISÄÄMISEEN

Kalastuksen innovaatio-ohjelma on yksi Suomen EMKR-toimintaohjelmaan sisältyvistä, monivuotisen rahoituksen turvin toimivista innovaatio-ohjelmista (www.merijakalatalous.fi). Ohjelmassa rakennetaan tutkimuksen ja elinkeinon välistä verkostoa ja yhteistyötä kotimaisen kalan arvon nostamiseksi ja uusien korkean lisäarvon tuotesovelluksien tuomiseksi markkinoille. Erityisenä painopistealueena ovat silakka, kilohaili ja särkikalat.

Tässä ohjelmassa on tuotettu tietoa mm. alihyödynnetyjen kotimaisten kalojen ja kalasivuvirtojen koostumuksesta ja kehitetty Suomen olosuhteisiin soveltuvaa teknologiaa ja toimintatapoja kalansaaliiden täysimääräiseksi hyödyntämiseksi elintarvikkeissa ja korkean lisäarvon erikoistuotteissa. Suomen EMKR-toimenpideohjelman mukaisesti kehittäminen tehdään yhteistyössä elinkeinon kanssa, joista tärkeimpiä kumppaneita ovat kalastusjalostuksen ja kaupallisen kalastuksen toimijat.

6. Mitä sinisen biotalouden jälkeen?

Petri Suuronen, Meri Kallasvuo

Kalatalous on vesiluonnonvarojen kestävää hyödyntämistä ja keskeinen osa sinistä biotaloutta. Suomen kalatalous on viime vuosikymmeninä ollut rajussa muutoksessa ja uudistuu monin eri tavoin. Luonnonvarakeskus on toimialan keskeisenä tiedontuottajana tärkeässä roolissa tässä uudistumisprosessissa. Kalan merkittävät mahdollisuudet terveellisenä ja haluttuna elintarvikkeena sekä uusimpien ruokatrendien ehdottomana ”suosikkina” on tunnistettu ja toimenpiteisiin on ryhdytty. Kalalla on kasvava rooli tulevaisuuden ruokahuollossa sekä huomattavia mahdollisuuksia myös elämysten tuottajana ja osana kasvavaa matkailuelinkeinoa. Kaloilla on myös jatkuvasti kasvava merkitys puhtaan veden indikaattoreina.

Vaikka Sininen biotalous -ohjelma on päättynyt, sinisen biotalouden tutkimus ei lopu Luonnonvarakeskuksessa. Työ jatkuu uusien tutkimusohjelmien sisällä ja sen myötä uusia näkökulmia tulee mukaan tutkimustoimintaan. On entistä paremmin tunnistettava, mitkä ovat sinisen biotalouden suuret ja tärkeät muutostarpeet ja mahdollisuudet, ja miten nämä suuntaukset ohjaavat sinistä biotaloutta. Priorisointi ja yhteistyö tulevat entistäkin tärkeämmäksi. Tutkimuspanokset on ensi sijassa suunnattava sellaiseen toimintaan, jonka avulla voidaan luoda uusia mahdollisuuksia toimialan elinkeinojen kehitykselle ja toimialaympäristön tilan parantamiselle. Toimialan yritysten toimintaedellytyksiä ja kannattavuutta on parannettava.

Kotimaisen kalan tarjonnan lisääminen ja arvoketjujen kehittäminen tulee olemaan merkittävä osa tulevien vuosien työtä. Kalan kysyntä kasvaa ja suomalaiset haluavat syödä kotimaista kalaa sen eri muodoissa. Kotimaisen kalan tarjonnan lisäämiseen on löydettävä tehokkaita ja kestäviä ratkaisuja. Alkutuotannon kasvun esteitä on pystyttävä lievittämään nykyistä tehokkaammin uusien teknologioiden ja lähestymistapojen avulla. Pyyntisektorilla tarvitaan merkittäviä uudistuksia ja teknologista edistymistä. Uudet vesiviljelyteknologiat ja menetelmät sekä sijainninhajaus nousevat entistä tärkeämpään rooliin. Kasvatetun kalan terveyteen ja hyvinvointiin kiinnitetään aikaisempaa oleellisesti suurempi huomio. Kotimaisen kalan tarjonnan lisäämiselle ja tuotannon arvon nostamiselle on olemassa merkittävä potentiaali.

Genetiikan ja geeniteknologian suuret mahdollisuudet tulevaisuuden ravinnontuotannossa ja monimuotoisuuden säilyttämisessä on tunnistettu; tälle sektorille on suunnattava aikaisempaa enemmän innovatiivista tutkimusta. Samoin kalabiomassojen sivuvirtojen merkitys biokiertoaloudessa ja teollisten ekosysteemien rakentamisessa on nousemassa tärkeäksi tutkimussektoriksi. Tuotantomuotojen yhdistäminen (symbioosit) ja kiertotalous ovat tulevaisuutta ja niiden pitää näkyä tutkimuksen profiloinnissa.

Myös rakentavan dialogin kehittäminen toimialalla on keskeisen tärkeää ja sen merkitys kasvaa tulevaisuudessa. Sininen biotalous -ohjelma on monin eri tavoin edistänyt keskustelua toimialallaan. Yhtenä esimerkkinä mainittakoon vesiviljelyn lupapolitiikan kehittäminen. Rakentava tietoon pohjautuva keskustelu on tärkeää päätöksenteossa, jotta vesiviljelylle saadaan luotua riittävät toimintaedellytykset ottaen samalla huomioon vesien käytön muut intressit. Tutkimus on omalta osaltaan tukenut sitä, että kasvatettu kala tunnustetaan tärkeäksi ja hyväksytyksi osaksi suomalaista ruokaketjua. Kotimaisen kalan tarjonnan oleellinen lisääminen ei ole mahdollista ilman vesiviljelyn kasvua. Myös pyyntikalastuksen kehittämisessä tarvitaan aikaisempaa parempaa dialogia. Sitä tarvitaan erityisesti siirtymisessä ihmisen ja luonnonvaraisten eläinten välisestä konfliktista kohti rinnakkaiseloja ja synergiaa. Monimutkaisten asioiden ratkaiseminen edellyttää aikaisempaa oleellisesti laaja-alaisempaa tutkimus- ja kehitystyötä.

Itämeren ja rannikkovesien ekologisen tilan parantaminen edesauttaa sinisen biotalouden kehittämistä. Siniset hyvinvointipalvelut ovat kasvava alue ja tarjoavat suuria mahdollisuuksia toimialalle. Tämän pitää heijastua myös tutkimusagendassa. Ilmastonmuutos, vieraslajit, uudet taudit ja monet muut ympäristömuutoksiin liittyvät asiat tulevat vaatimaan aikaisempaa suurempaa huomiota. Monitieteisyyteen kannustavat aloitteet ja rahoituslähteet ovat tärkeitä. Kansainvälisen kärjen terästäminen on edelleen oleellista kansainvälisen rahoituksen ja vaikutavuuden lisäämisessä.

Viitteet

- Alioravainen, N., Hyvärinen, P., Kortet, R., Härkönen, L. & Vainikka, A. 2018. Survival from pike predation depends more on size than on behaviour or genetic background in brown trout. *Boreal Environment Research* 23: 267–281.
<http://www.borenv.net/BER/pdfs/ber23/ber23-249-265.pdf>
- Alioravainen, N., Prokkola, J., Lemopoulos, A., Härkönen, L., Hyvärinen, P. & Vainikka, A. 2020a. Post-release exploration and diel activity of hatchery, wild and crossbred strain brown trout in semi-natural streams. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*.
<https://www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.1139/cjfas-2019-0436#.X2kBFWgzaUk>
- Alioravainen, N., Hyvärinen, P. & Vainikka, A. 2020b. Vulnerability to angling explains offspring behaviour in brown trout. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*.
<https://doi.org/10.1139/cjfas-2018-0424>
- Erkamo, E., Ruokonen, T., Sjövik, R. & Keskinen, T. 2019. Luonnos Pohjois-Päijänteen kalatalousalueen raputaloudelliseksi käyttö- ja hoitosuunnitelmaksi vuosille 2019–2024. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 62/2019. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 47 s.
- Hatanpää, A., Huuskonen, H., Janhunen, M., Kortet, R. & Piironen, J. 2021. Spawning season movements of transported landlocked Atlantic salmon in a newly restored river habitat. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 78: 184–192. doi:
<https://doi.org/10.1139/cjfas-2019-0334>
- Kallio-Nyberg, I., Saloniemi, I. & Koljonen, M.-L. 2020. Increasing temperature associated with increasing grilse proportion and smaller grilse size of Atlantic salmon. *Journal of Applied Ichthyology* 36: 288–297. <https://doi.org/10.1111/jai.14033>
- Karvonen, A., Aalto-Araneda, M., Virtala, A.-M., Kortet, R., Koski, P. & Hyvärinen, P. 2016. Enriched rearing environment enhances survival and resistance of salmonid fishes during parasite epidemics. *Journal of Applied Ecology* 53: 213–221.
<https://doi.org/10.1111/1365-2664.12568>
- Knap, P.W. & Kause, A. 2018. Phenotyping for genetic improvement of feed efficiency in fish: Lessons from pig breeding. *Frontiers in Genetics* 9: 184.
<https://doi.org/10.3389/fgene.2018.00184>
- Koljonen, M.-L., Syrjänen, J. T., Koskiniemi, J. & Heinimaa, P. 2018. Päijänteen ja sen latvavesien taimenkantojen geneettiset resurssit. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 6/2018. Luonnonvarakeskus, Helsinki. 56 s.
- Koljonen, M.-L., Eskelinen, P., Piironen, J., Urho, L., Saura, A., Artell, J. & Venesjärvi, R. 2019a. Talouskalojen arvojen määrittäminen ja ehdotus laittomasti pyydettyjen kalojen korvausarvoiksi. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 61/2019. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 43 s.
- Koljonen, M.-L., Veneranta, L., Kallio-Nyberg, I., Koskiniemi, J. & Jokikokko, E. 2019b. Pohjanlahden siikakantojen perinnöllinen erilaistuminen ja merialueen siikasaaliiden alkuperä. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 56/2019. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 52 s.
- Kuukka-Anttila, H. 2020. Väitöskirja: Of the interactions between eye fluke parasites and salmonid fishes. Helsingin Yliopisto. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/319384>

- Lappalainen, A., Kuningas, S., Paloheimo, A., Lindholm, G. & Lönnroth, M. 2019. Ehdotus Porvoon-Sipoon kalatalousalueen merialueen käyttö- ja hoitosuunnitelmaksi. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 53/2019. 51s.
- Leinonen, T., Piironen, J., Koljonen, M.-L., Koskiniemi, J. & Kause, A. 2020. Restored river habitat provides a natural spawning area for a critically endangered landlocked Atlantic salmon population. PLoS ONE 15(5): e0232723. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232723>
- Lemopoulos, A., Prokkola, J., Uusi-Heikkilä, S., Vasemägi, A., Huusko, A., Hyvärinen, P., Koljonen, M.-L., Koskiniemi, J. & Vainikka, A. 2019a. Comparing RADseq and microsatellites for estimating genetic diversity and relatedness – implications for brown trout conservation. Ecology and Evolution. 2019: 1–15. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ece3.4905>
- Lemopoulos, A., Uusi-Heikkilä, S., Hyvärinen, P., Alioravainen, N., Prokkola, J., Elvidge, K., Vasemägi, A. & Vainikka, A. 2019b. Genome-scans suggest a polygenic basis for experimentally evaluated migration tendency in brown trout. G3: Genes, Genomes, Genetics September 1, 2019 vol. 9 no. 9: 2887–2896. <https://doi.org/10.1534/g3.119.400369>
- Luonnonvarakeskus 2020. Ruoka- ja luonnonvaratilastojen e-vuosikirja 2020 : Tilastoja maataloudesta, metsäsektorilta sekä kala- ja riistataloudesta. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 106/2020.
- Räihä, V., Sundberg, L.-R., Ashrafi, R., Hyvärinen, P. & Karvonen, A. 2019. Enriched rearing environment enhances survival during disease outbreaks in aquaculture. Journal of Applied Ecology. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13393>
- Salminen, M. & Böhling, P. (toim.). 2018. Kalavarojen käyttö ja hoito A&B. Luonnonvarakeskus. 608s.
- Salminen, M., Lappalainen, A., Keskinen, T. & Ruuhijärvi, J. 2019. Kalatalousalueen käyttö- ja hoitosuunnitelman mallirunko. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 65/2019. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 17 s.
- Sae-Lim, P., Gjerde, B., Nielsen, H.M., Mulder, H. & Kause, A. 2016. A review of genotype-by-environment interaction and microenvironmental sensitivity in aquaculture species. Reviews in Aquaculture 8: 369–393. <https://doi.org/10.1111/raq.12098>
- Yaripour, S., Kekäläinen, J., Hyvärinen, P., Kaunisto, S., Piironen, J., Vainikka, A., Koljonen, M.-L., Koskiniemi, J. & Kortet, R. 2020. Does enriched rearing during early life affect sperm quality or skin colouration in the adult brown trout ? Volume 529, 735648. Aquaculture. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735648>
- Ågren, A., Vainikka, A., Janhunen, M., Hyvärinen, P., Piironen, J. & Kortet, R. 2019. Does hybridization between strains affect early mortality, growth or personality in the brown trout (*Salmo trutta*)? Scientific Reports (2019) 9: 2771. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-35794-6>



luke.fi

Luonnonvarakeskus
Latokartanonkaari 9
00790 Helsinki
puh. 029 532 6000